

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Proposta de Ações de Eficiência Energética numa  
Instalação de Tratamentos Térmicos**

**Ricardo Filipe Figueiredo Ferreira**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Carlos A. Sá  
Co-orientador: Eng. António Paulo Cerqueira Duarte

julho de 2013



# Resumo

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo da secção de Tratamentos Térmicos da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. com vista à proposta de ações de eficiência energética. Este estudo visa, portanto, a redução do desperdício energético nas instalações, bem como o uso racional da energia.

Para tal, foi analisado o consumo de energia de grande parte dos equipamentos existentes naquela secção, nomeadamente dos mais representativos (fornos), sendo realizada uma desagregação de tais consumos por tipo de tecnologias de tratamento empregues (naves industriais) e por equipamento. Nesta matéria foi dada especial atenção aos fornos elétricos existentes, pois são estes que produzem “trabalho útil”, sem prejuízo de também terem sido estudados outros equipamentos “secundários”, também eles contribuidores para o consumo energético verificado.

À semelhança do que foi realizado para os consumos energéticos, também as produções da mesma secção foram objeto de estudo, com a sua desagregação por tecnologias de tratamento empregues e por equipamentos. Neste ponto e pela sua relevância, já referida, neste estudo apenas foram consideradas as produções diretamente relacionadas com os fornos elétricos de tratamentos térmicos.

Dada a importância da relação entre o consumo de energia num forno e a correspondente produção, relação essa indicadora da eficiência do mesmo, foi ainda realizado um estudo mais profundo para quantificar e comparar os diferentes fornos existentes.

Adicionalmente, foram também calculados os custos de operação associados aos equipamentos produtivos da secção de Tratamentos Térmicos da empresa, se bem que expurgados dos custos relacionados com a sua manutenção, mão-de-obra e outros encargos que lhes possam ser imputados.

Finalmente, esta dissertação culmina com um conjunto de propostas de gestão energética que visam uma melhor aplicação da energia nas instalações dos Tratamentos Térmicos da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.. Algumas delas foram ainda sujeitas a uma pequena análise de viabilidade no que à sua aplicação diz respeito.



# Abstract

The present dissertation has as main objective the study of Heat Treatment section of F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. with the intent of proposing energy efficiency measures. This study aims to reduce energetic waste within the facilities as well as lead to a rational use of energy.

To this end, the energy consumption of a great amount of the existing equipment, including the most representative ones (furnaces) were analyzed, being held a consumption disintegration by treatment technologies as well as equipment. Special attention was given to the furnaces because they are those that produces “useful work”, without prejudice for other “secondary” equipment which were also subject of study and contribute to energy consumption.

As made for energy consumption, production of Heat Treatment section was also studied and a disintegration by treatment technologies as well as equipment was made. At this stage and given its relevance above mentioned, this study only considered the production directly related to heat treatment furnaces.

Given the importance of the relationship between furnace energy consumption and his production, which is a furnace efficiency indicator, was also carried out a depth study to quantify and compare the different existing furnaces.

Additionally, operating costs associated to Heat Treatment production equipment were also calculated without taking into account maintenance costs, labor or other costs that can be imputed.

Finally, the dissertation ends with a series of energy efficiency and management proposals aiming to a better energy application in Heat Treatment facilities of F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.. Some of them suffer a small feasibility study in regard to its application.



# Agradecimentos

A elaboração da presente dissertação, não teria sido possível sem a colaboração e apoio de muitas pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte desta caminhada. A todas elas, um muito obrigado.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à pessoa que mais de perto acompanhou o meu trabalho, o Professor Carlos Manuel de Araújo Sá. Obrigado, pela orientação, conselhos, confiança, disponibilidade, paciência e toda a motivação demonstrada ao longo deste período. Sem o professor, tudo isto não seria possível.

À F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A., que me concedeu a oportunidade de desenvolver o meu trabalho. Em particular, uma palavra de agradecimento ao Eng. Paulo Duarte por todo o conhecimento partilhado durante este período, esclarecimentos e sobretudo pelo apoio na cedência de informação pertinente para a realização desta dissertação.

Aos meus pais, Manuel e Teresa, por todo o apoio dado durante este período e todo o meu percurso académico. Sem eles, não seria possível concretizar mais esta etapa da minha vida. Agradeço toda a confiança, compreensão, alento e orgulho que sempre demonstraram em mim. Este trabalho é-lhes dedicado em forma de um enorme agradecimento, a eles devo tudo o que consegui.

A todos os amigos que me acompanharam neste percurso académico, em especial ao Carlos Queirós e ao José Pedro Queirós, por toda a partilha e cumplicidade que cresceu ao longo deste período e se tornou numa grande amizade. A eles agradeço todos os momentos que me proporcionaram.

Por último, um enorme agradecimento aos meus amigos de longa data, Ana Queiroz, Catarina Gomes, Nuno Silva, Nilza Ramião, Rafael Bastos, Ricardo Lourenço e Vânia Pinheiro que são uma parte bastante importante na minha vida e sempre me apoiaram em todos os bons e maus momentos sem quaisquer reservas. Um muito obrigado a todos vós.

Ricardo Ferreira





# Índice

Resumo .....	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos .....	v
Índice.....	vii
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	xi
Abreviaturas e Símbolos .....	xiii
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1 - Objetivos e Motivação da Dissertação.....	1
1.1.1 - Tratamentos Térmicos: Generalidades .....	2
1.2 - Estrutura da Dissertação.....	4
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>5</b>
F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. ....	5
2.1 - Caracterização da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. ....	5
2.2 - Os Tratamentos Térmicos .....	10
2.2.1 - Tipos de Tratamentos Térmicos .....	11
2.2.2 - Classificação de Fornos .....	14
2.3 - Caracterização e Análise das Infraestruturas Elétricas .....	20
2.3.1 - Infraestruturas Elétricas da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. ....	20
2.3.2 - Consumos Elétricos Globais da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. ....	22
2.3.3 - Infraestruturas Elétricas da Secção de Tratamentos Térmicos .....	25
2.4 - Dados Disponibilizados .....	27
2.4.1 - Apresentação Geral.....	27
2.4.2 - Descrição dos Ciclos de Tratamento.....	28
2.5 - Estratégia de Abordagem do Problema Proposto.....	37
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>39</b>
Desagregação dos Consumos.....	39
3.1 - Os Consumos Elétricos em 2012.....	39
3.2 - Auditoria Energética .....	44

3.2.1 - Consumos no Quadro Geral e Quadros Parciais .....	45
3.3 - Quadros Parciais da Nave de Vácuo .....	51
3.3.1 - Quadro Parcial do Sector de Têmpera .....	51
3.3.2 - Quadro Parcial do Sector de Revenido .....	56
3.4 - Quadro Parcial da Nave de Atmosfera Controlada .....	58
3.5 - Quadro Parcial da Nave de Contínuo .....	61
3.6 - Considerações Finais .....	62
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>65</b>
Custos de Produção .....	65
4.1 - Produção na Secção de Tratamentos Térmicos .....	65
4.1.1 - Produção na Nave de Vácuo .....	69
4.1.2 - Produção na Nave de Atmosfera Controlada .....	72
4.1.3 - Produção na Nave de Contínuo .....	73
4.2 - Consumo Específico: Consumo Energético vs Produção .....	74
4.3 - Custos de Produção .....	84
4.3.1 - Custos da Nave de Vácuo .....	84
4.3.2 - Custos da Nave de Atmosfera Controlada .....	85
4.3.3 - Custos da Nave de Contínuo .....	86
4.4 - Considerações Finais .....	87
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>89</b>
Medidas de Gestão Energética .....	89
5.1 - Enquadramento .....	89
5.2 - Medidas Propostas .....	91
5.2.1 - Substituição de Resistências em Fornos .....	91
5.2.2 - Substituição de Isolamento .....	94
5.2.3 - Substituição de Bases .....	97
5.2.4 - Seleção de Novas Bombas de Vácuo .....	100
5.2.5 - Instalação de Variadores de Velocidade .....	103
5.2.6 - Outras Medidas Aplicáveis .....	108
5.3 - Considerações Finais .....	113
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>115</b>
Conclusões e Perspetiva de Trabalhos Futuros .....	115
6.1 - Conclusões .....	115
6.2 - Perspetiva de Trabalhos Futuros .....	118
<b>Referências .....</b>	<b>121</b>

# Lista de Figuras

Figura 2.1 - Instalações da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. situadas em Ovar .....	6
Figura 2.2 - Distribuição dos custos presentes na fatura energética de um cliente comercial fornecido em MT [10].....	7
Figura 2.3 - Tratamentos Térmicos na F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. ....	10
Figura 2.4 - Estrutura de um forno de carregamento inferior [7] .....	15
Figura 2.5 - Estrutura de um forno de carregamento superior [7] .....	15
Figura 2.6 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal [7] .....	16
Figura 2.7 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal sem câmara de isolamento [7] .....	16
Figura 2.8 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal com câmara de isolamento [7] .....	17
Figura 2.9 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal de atmosfera controlada ....	18
Figura 2.10 - Estrutura de um forno contínuo [7] .....	18
Figura 2.11 - Esquema simplificado da infraestrutura elétrica da empresa.....	20
Figura 2.12 - Organigrama de quadros elétricos e correspondentes equipamentos na secção de Tratamentos Térmicos .....	25
Figura 2.13 - Organigrama detalhado de quadros elétricos na secção de Tratamentos Térmicos .....	27
Figura 3.1 - Exemplo de alguns fornos utilizados pela F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.....	45
Figura 5.1 - Vista da câmara do forno B85T da B.M.I. Fours Industriels [14] .....	91
Figura 5.2 - Vista interior do forno B8_T onde podem ser observados os elementos responsáveis pelo aquecimento [15] .....	92
Figura 5.3 - Vista interior do forno B5_R onde podem ser observados os elementos responsáveis pelo aquecimento [16] .....	93
Figura 5.4 - Isolamentos em molibdénio aplicáveis ao interior de um forno a vácuo [18].....	94

Figura 5.5 - Isolamento em CFC aplicável ao interior de um forno a vácuo [19] .....	95
Figura 5.6 - Evolução da potência consumida durante um ciclo do B74T .....	95
Figura 5.7 - Exemplo de uma base em aço (seta de cima) e de uma base de carbono (seta de baixo) [21] .....	99
Figura 5.8 - Bomba seca Leybold Screwline SP250 [22] .....	100
Figura 5.9 - Bomba seca Edwards GXS250 [25] .....	101
Figura 5.10 - Característica de bombagem da bomba Leybold Screwline SP250 [22] .....	101
Figura 5.11 - Característica de bombagem da bomba Edwards GXS250 [23] .....	102
Figura 5.12 - Curvas características de cargas de potência constante [24] .....	104
Figura 5.13 - Curvas características de carga de binário constante [24] .....	105
Figura 5.14 - Curvas características de carga de binário variável [24] .....	105
Figura 5.15 - Ventiladores axiais de telhado (VAT) instalados [26] .....	106
Figura 5.16 - VEV da Emerson Industrial Automation - Control Techniques [28] .....	107
Figura 5.17 - Objetivo da distribuição dos consumos no control de ponta [30] .....	110
Figura 5.18 - Evolução da potência utilizando um algoritmo preditivo .....	111

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Equipamentos e respetiva localização na secção de Tratamentos Térmicos.....	11
Tabela 2.2 - Dados referentes aos fornos presentes na secção de Tratamentos Térmicos .....	19
Tabela 2.3 - Distribuição de consumos globais de energia elétrica ativa por períodos tarifários .....	23
Tabela 2.4 - Valores mensais da potência tomada em 2012 .....	24
Tabela 3.1 - Consumo de energia elétrica da secção de Tratamentos Térmicos, no ano de 2012.....	41
Tabela 3.2 - Consumos mensais durante o ano de 2012 nas diferentes naves da secção de Tratamentos Térmicos [2] .....	43
Tabela 3.3 - Desvios percentuais relativos a maior e menor consumo mensal considerando os meses de agosto e dezembro de 2012 .....	44
Tabela 3.4 - Desvios percentuais relativos a maior e menor consumo sem considerar os meses de agosto e dezembro de 2012 .....	44
Tabela 3.5 - Correspondência dos dias da semana aos dias indicados nos gráficos subsequentes.....	47
Tabela 3.6 - Somas relativas aos consumos gerais e aos consumos individuais das naves e respetivo desvio .....	49
Tabela 3.7 - Consumos “elétricos” totais na secção de Tratamentos Térmicos .....	50
Tabela 3.8 - Consumos no QTêmpera [2] .....	51
Tabela 3.9 - Consumos diários medidos nos equipamentos ligados ao QTêmpera [2] .....	51
Tabela 3.10 - Dados utilizados na estratégia que melhor representa o funcionamento do sector de têmpera .....	55
Tabela 3.11 - Consumos diários no QRevenido [2] .....	56
Tabela 3.12 - Consumos diários medidos nos equipamentos ligados ao QRevenido [2] .....	56

Tabela 3.13 - Consumos diários medidos nos equipamentos ligados ao QAtmosfera Controlada [2] .....	59
Tabela 3.14 - Consumos diários médios registados no forno Solo [2] .....	61
Tabela 4.1 - Produção diária (10-16 de dezembro de 2012) na Nave de Vácuo .....	69
Tabela 4.2 - Produções semanais (10-16 de dezembro de 2012) dos fornos do sector de têmpera.....	70
Tabela 4.3 - Produções semanais (10-16 de dezembro de 2012) dos fornos no sector de revenido .....	71
Tabela 4.4 - Produção diária (17-24 de dezembro de 2012) na Nave de Atmosfera Controlada.....	72
Tabela 4.5 - Produção diária (07-10 de janeiro de 2013) na Nave de Contínuo .....	73
Tabela 4.6 - Médias diárias de consumo e produção na Nave de Vácuo .....	74
Tabela 4.7 - Consumo de energia por ciclo de tratamento térmico em fornos da Nave de Vácuo.....	78
Tabela 4.8 - Custos associados aos equipamentos presentes na Nave de Vácuo .....	79
Tabela 4.9 - Média semanal de custo e produção média diária na Nave de Atmosfera Controlada.....	80
Tabela 4.10 - Custos associados aos equipamentos presentes na Nave de Atmosfera Controlada.....	82
Tabela 4.11 - Consumo de energia por ciclo de tratamento térmico em fornos da Nave de Atmosfera Controlada .....	83
Tabela 4.12 - Custos associados aos equipamentos presentes na Nave de Contínuo .....	83
Tabela 4.13 - Custos associados ao consumo de energia elétrica pelos equipamentos presentes na Nave de Vácuo .....	85
Tabela 4.14 - Custos associados ao consumo de energia elétrica pelos equipamentos presentes na Nave de Atmosfera Controlada .....	85
Tabela 4.15 - Custos médios semanais e custos anuais estimados do forno Solo para os seus estados de funcionamento .....	87
Tabela 5.1 - Estudo à poupança efetuada em caso de substituição do isolamento.....	96
Tabela 5.2 - Estudo à poupança efetuada em caso de substituição de bases .....	98
Tabela 5.3 - Estudo à poupança efetuada em caso de substituição das bombas de vácuo ....	103
Tabela 5.4 - Estudo à poupança efetuada em caso de instalação de VEV .....	106

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

BLB	Bilobite Engenharia, L.da
CC	Curto-circuito
CFC	Clorofluorcarboneto
CIE	Consumidor Intensivo de Energia
CIEGS	Custos de Interesse Económico Geral
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
EDP	Energias de Portugal
IP	Índice de Proteção
IRC	Índice de Restituição de Cor
QATM	Quadro Parcial da Nave de Atmosfera Controlada
QContínuo	Quadro Parcial da Nave de Contínuo
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGTT/QGeral	Quadro Geral dos Tratamentos Térmicos
QG1	Quadro situado junto ao PT1 que tem ligação com o PT2
QPTX	Quadro do Posto de Transformação X
QP3	Quadro situado junto ao PT2
QRevenido	Quadro Parcial situado na Nave de Vácuo relativo à Secção de Revenido
QTêmpera	Quadro Parcial situado na Nave de Vácuo relativo à Secção de Têmpera
MT	Média Tensão
PTX	Posto de Transformação X
PREn	Plano de Racionalização de Consumo de Energia
VAT	Ventilador Axial de Telhado
VEV	Variador Eletrónico de Velocidade

## Lista de Símbolos

u.c.	Unidade de custo (*)
u.e.	Unidade de energia (*)
u.m.	Unidade de massa (*)
u.p.	Unidade de potência (*)

(\*) - Unidades introduzidas por questões de confidencialidade industrial



# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo, pretende-se dar uma visão global do problema que motivou a realização da dissertação proposta. Assim, numa primeira parte são apresentados os motivos, os principais objetivos e um pequeno enquadramento do problema.

Por fim, é apresentada a estrutura que a dissertação seguirá, bem como um curto resumo do conteúdo de cada um dos capítulos que constituem o trabalho desenvolvido.

### 1.1 - Objetivos e Motivação da Dissertação

A dissertação apresentada surgiu de uma proposta submetida em devido tempo à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela empresa F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A., empresa que acolheu o trabalho e disponibilizou as condições necessárias à sua realização e cujo principal objetivo é estudar o consumo energético imputável a uma das suas áreas de negócio: a respetiva secção de Tratamentos Térmicos bem como a proposta de medidas de eficiência energética.

A F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. para além da secção de Tratamentos Térmicos que vai ser abordada no presente estudo, oferece uma grande variedade de serviços adicionais que vão desde a comercialização de ligas ferrosas e não ferrosas, produção de aço estirado, à maquinação de blocos de aço, comercialização de ferramentas de corte e prestação de serviços de análise laboratorial para o exterior [1].

Nos tratamentos térmicos são tratados inúmeros aços adequados a cada tipo de aplicação. Cada aço é sujeito a diferentes ciclos térmicos com vista à alteração das suas propriedades físicas e metalúrgicas. Os materiais mais frequentemente submetidos a tratamento térmico são [2]:

- Os aços AISI H13 e D2, que representam os aços de ferramenta mais utilizados na têmpera a vácuo e o aço AISI 01 o mais utilizado na têmpera a óleo;
- O aço EN 16MnCr5, que é o mais utilizado para a realização de tratamentos superficiais de cementação;

- O aço EN 1.2738, que está frequentemente presente quando se trata do tratamento superficial de nitruração;
- Os aços de baixo e médio carbono, de que são exemplo o S235 e o Ck45, que são os mais utilizados nos tratamentos em contínuo.

Os aços acima indicados, juntamente com outros, dão origem a uma produção anual superior a 1.500 toneladas de aço tratado, contribuindo assim para os resultados operacionais da empresa F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. que, em 2012, ascenderam globalmente a 9,7 milhões de euros [2,3].

De modo a responder ao volume de trabalho e a todas as solicitações recebidas, a F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. emprega 167 pessoas, 23 das quais trabalham na sua secção de Tratamentos Térmicos [2].

Tendo presentes as características gerais da empresa e da sua secção de Tratamentos Térmicos em particular, e os objetivos traçados para o efeito, o presente estudo não só incluiu a análise e caracterização detalhada dos consumos energéticos daquela secção da empresa, como também das correspondentes produções, procurando assim detetar problemas e falhas que, quando identificadas e devidamente caracterizadas, pudessem ser corrigidas através da aplicação de possíveis medidas de eficiência e de gestão energética de modo a reduzir os custos energéticos (vulgarmente referidos como Consumos Específicos), o que, em última análise, é o grande objetivo a ser atingido com o trabalho desenvolvido.

### 1.1.1 - Tratamentos Térmicos: Generalidades

Os tratamentos térmicos podem ser entendidos como um conjunto de processos nos quais as variações de temperatura (aquecimento e arrefecimento) impostas ao material são controladas ao longo do tempo, de modo a conferir-lhes certas propriedades como por exemplo dureza, resistência mecânica, ductilidade e estrutura interna [4].

Os processos que conferem aos materiais estas propriedades são a têmpera, o recozimento, a redução de tensões, a cementação, a carbonitruração, a nitrocarburação e a nitruração [5, 6]. Alguns destes processos serão alvo de uma pequena referência e descrição no capítulo 2 da presente dissertação.

Por sua vez, os tratamentos térmicos envolvem um conjunto de equipamentos entre os quais se encontram diversos tipos de fornos industriais. De um ponto de vista produtivo, é no funcionamento destes fornos que se concentra uma boa parte da atenção, já que é no seu interior que as propriedades das peças, desejadas pelos clientes, são atingidas através de um controlo bastante rigoroso da temperatura ao longo de todo o ciclo de tratamento [4].

Dado que as peças, em aço, têm de ser levadas a temperaturas bastante elevadas ao longo do processo, é geralmente necessário um grande consumo de energia para elevar, manter e baixar a temperatura no interior dos fornos durante todo o ciclo de tratamento.

A este propósito refira-se que, no caso em estudo, o tipo de energia em causa é a energia elétrica, mas que o recurso a fornos cujo combustível é o gás natural também poder ser uma solução tecnológica no ramo de tratamentos térmicos do aço, existindo na empresa três fornos com esta última tecnologia. No entanto, embora o gás natural se apresente como um combustível mais barato do que a energia elétrica, o rendimento típico dos fornos elétricos disponíveis industrialmente é, por norma, bastante superior ao dos fornos a gás natural equivalentes: se nos fornos elétricos a sua eficiência típica pode facilmente situar-se acima dos 85%, já quando se fala de fornos a gás natural, essa eficiência é drasticamente inferior -

dependendo das temperaturas a atingir nos processos, bem como do *design* do forno utilizado, a eficiência destes fornos varia entre 5% e 70% [7].

Assim sendo, numa instalação em que os maiores custos energéticos residem precisamente em encargos com a aquisição de energia elétrica, um passo bastante importante no sentido da eficiência energética e, portanto, da sua boa gestão, passará por medidas de poupança. Mais à frente serão discutidas algumas dessas medidas que, se aplicadas segundo certas condições, poderão contribuir para tais objetivos.

O primeiro passo a ser dado em direção à poupança energética é, e porque estamos a falar da indústria, a realização de uma auditoria energética que deverá ter como objetivo conhecer onde, quando e como a energia é utilizada. Deste conhecimento deverá ser possível também estabelecer a eficiência dos equipamentos utilizados, bem como localizar onde existem os maiores desperdícios de energia. Numa auditoria energética, o objetivo maior é, após estudado o problema e todas as condicionantes envolvidas, conseguir uma redução da energia gasta sem nunca afetar a produção da instalação [8]; por outras palavras, conseguir uma redução do chamado Consumo Específico da instalação.

Uma auditoria energética, conforme a finalidade a que se destina, pode ser *simples* ou *completa*. Uma auditoria simples tem apenas como base a informação presente nas faturas de aquisição da energia consumida pela instalação. Já numa auditoria completa, como o próprio nome indica, deverá haver um estudo mais detalhado dos consumos energéticos verificados ao longo de um dado período de tempo, de modo a conduzir a uma maior e melhor caracterização dos gastos energéticos e de situações anómalas [9].

Entre 10 de dezembro de 2012 e 11 de janeiro de 2013, logo pouco tempo antes da realização do trabalho a que se refere a presente dissertação, a secção de Tratamentos Térmicos da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A., foi alvo de uma auditoria energética completa. No entanto, tal auditoria não se enquadrou no artigo 6º do Decreto de Lei nº 71/2008 que, como se sabe, obriga à realização de auditorias energéticas periódicas, com elaboração dos correspondentes PREn - Plano de Racionalização de Consumo de Energia, desde que o consumo energético global numa instalação, verificado num determinado ano civil, ultrapasse um dado limite (500 tep). Foi, isso sim, uma auditoria energética de iniciativa voluntária da empresa, abrangendo apenas a sua secção de Tratamentos Térmicos, realizada pela BLB - Bilobite Engenharia, L.da.

Esta auditoria energética foi realizada com recurso a aparelhos analisadores/registadores digitais, com vista a obter os consumos individuais dos equipamentos, bem como a medir/registar o consumo total das naves industriais que constituem a secção de Tratamentos Térmicos da empresa. Segundo foi possível apurar, por limitação no número de equipamentos de medição disponíveis, tal auditoria foi realizada ao longo de três períodos temporais distintos, o que não terá permitido monitorizar, em simultâneo, todos os equipamentos presentes na secção de Tratamentos Térmicos da empresa.

Entre outros dados disponibilizados pela empresa, também os dados resultantes da mencionada auditoria energética levada a cabo pela BLB foram utilizados como base de informação para a elaboração do presente estudo. Por isso, as principais conclusões extraídas da sua análise e tratamento serão apresentadas nos capítulos posteriores.

## 1.2 - Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

No capítulo 1 é feito um pequeno enquadramento do problema que foi alvo de estudo na restante dissertação e que está relacionado com a gestão energética numa instalação industrial.

No capítulo 2, é feita uma caracterização da secção dos Tratamentos Térmicos da empresa no que diz respeito à alimentação e organização dos quadros elétricos existentes na mesma; adicionalmente, também são apresentados os processos que fazem parte do dia-a-dia dos trabalhos realizados em tal secção, incluindo uma pequena descrição dos mesmos. São ainda alvo de análise e classificação os fornos que constituem a secção em estudo, juntamente com uma descrição dos ciclos *standard* verificados nos mesmos. A encerrar o capítulo estará ainda presente a estratégia de abordagem utilizada na resolução do problema proposto.

O capítulo 3 está relacionado com os consumos energéticos na secção dos Tratamentos Térmicos da empresa e será neste capítulo que os mesmos serão desagregados de modo a dar uma ideia da sua distribuição, quer por nave quer por equipamento e quais os pontos de maior e menor consumo energético na instalação. Ao contrário do que acontecerá no capítulo 4, neste capítulo estão incluídos todos os equipamentos presentes na instalação estudada.

No capítulo 4 são tratadas as produções da secção dos Tratamentos Térmicos sendo também alvo de uma desagregação à semelhança do que foi feito com os consumos no capítulo 3. Neste capítulo é ainda feita uma análise que tentará relacionar as produções verificadas com os consumos energéticos apurados no mesmo período de tempo. Esta análise irá apenas incidir sobre os fornos instalados na mencionada secção, pois são estes os responsáveis pela produção “útil” efetuada na instalação.

O capítulo 5 aborda algumas medidas de eficiência e de gestão energética que possam ser aplicadas à instalação de modo a melhorar os consumos energéticos efetuados pelos diferentes equipamentos. São ainda incluídas sugestões de medidas a aplicar não só aos equipamentos em si, mas também às próprias instalações e às suas infraestruturas energéticas. Dado que algumas destas medidas podem não ter benefícios evidentes, foi também incluída uma pequena análise de viabilidade quando esta se justificar.

No último capítulo, o capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões retiradas ao longo de toda a dissertação. Para além disso, é também feita referência a alguns trabalhos futuros que poderão ser realizados com vista à melhoria das condições de funcionamento da instalação.

## Capítulo 2

### F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

Com este capítulo pretendeu-se fazer uma breve descrição da empresa, sendo dada particular importância à sua secção de Tratamentos Térmicos. Será feita uma breve caracterização desta e referidos os seus aspetos mais relevantes.

Pela sua importância vital para a realização da dissertação, é neste capítulo que se inclui também uma visão geral dos dados disponibilizados, quer pela empresa em si, quer resultantes da auditoria energética realizada pela BLB no período 10/12/2012 a 11/01/2013.

A que se junta uma breve descrição dos processos envolvidos nos tratamentos térmicos realizados na secção dos Tratamentos Térmicos da empresa.

Por fim, teremos uma referência à estratégia de abordagem do problema proposto pela empresa, bem como os passos principais da sua resolução.

#### 2.1 - Caracterização da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

A F. Ramada, Aços e Indústrias. S.A., empresa industrial do grupo Ramada é, sem dúvida, uma das principais empresas presentes em Portugal no que diz respeito à indústria metalomecânica. É uma empresa especializada no fornecimento de aços onde, dos muitos serviços oferecidos, destacam-se o corte à medida, o estiramento, a maquinaria de aço, o seu tratamento térmico bem como a comercialização de ferramentas de corte.

Com sede em Ovar e filiais em Braga, Porto, Águeda, Marinha Grande e Lisboa, a empresa possui uma rede de distribuição que permite oferecer aos clientes uma rápida satisfação dos seus pedidos, com grande celeridade e qualidade, abrangendo uma gama alargada de produtos e serviços.

As instalações da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A., situadas em Ovar, podem ser observadas na figura 2.1. São constituídas por um amplo armazém onde se encontram armazenados e são produzidos vários tipos de aço e de ligas não ferrosas, de modo a satisfazer os pedidos dos clientes não só de Ovar mas também, os que surgem das restantes filiais espalhadas por todo o país.

Os tratamentos térmicos fazem parte também das instalações de Ovar, sendo a secção onde, como o próprio nome indica, são tratadas grandes quantidades de aço de modo a dar ao mesmo as propriedades desejadas pelos clientes.

O corte, o estiramento, a maquinaria de aço e a produção de serras e ferramentas são outras das atividades presentes nas instalações de Ovar que, com uma comunicação constante com os clientes, tenta perceber as suas necessidades e dificuldades de modo a conseguir melhorar e entregar aos mesmos, produtos de boa qualidade.



**Figura 2.1** - Instalações da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. situadas em Ovar

Como pode ser observado na figura 2.1, as instalações da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. em Ovar são constituídas por um conjunto de pavilhões de que se salientam (ver figura):

- 1) Tratamentos Térmicos;
- 2) Armazém;
- 3) Serras e Ferramentas, maquinaria e ferramentas de corte;
- 4) Produtos Estirados.

Ainda na mesma imagem é possível observar a localização aproximada dos postos de transformação responsáveis pela alimentação das instalações. O PT1 encontra-se junto ao pavilhão das serras e ferramentas, maquinaria e ferramentas de corte, enquanto que o PT2, posto de transformação que recebe a alimentação em MT, está localizado numa das extremidades das instalações. O último posto de transformação construído, o PT3, encontra-se paredes meias com o pavilhão dos Tratamentos Térmicos.

O presente estudo e todas as considerações retiradas do mesmo vão ser referentes ao pavilhão dos Tratamentos Térmicos.

As instalações são alimentadas em MT a uma tensão de 15 kV cujo fornecedor de energia tem sido a EDP Comercial, Comercialização de Energia, S.A.. Como é sabido, as empresas dispõem de tarifas contratuais que são diferentes das tarifas para fins residenciais, pois as zonas residenciais, como regra, não precisam de níveis de potência tão elevados acarretando menores custos para o fornecedor de energia.

A F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. está então abrangida por uma tarifa contratual designada por “Energia + Redes MT” com um ciclo horário “FER - Ciclo Semanal com Feriados”.

Todos os consumidores MT, F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. incluída, estão sujeitos a várias parcelas constituintes da sua fatura energética. Nesta estão então presentes os seguintes custos referentes a [10]

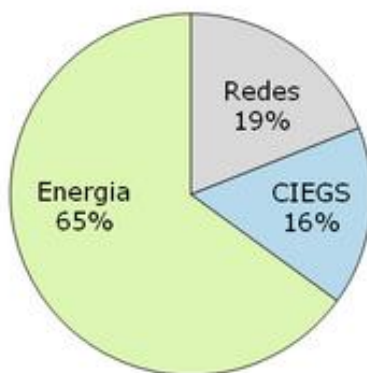
:

- **Energia**, englobando os custos de produção e de comercialização da mesma com preços retirados do mercado;
- **Redes**, que incluem os custos associados ao transporte da energia desde os centros produtores até ao consumidor final;
- **CIEGS** (Custos de Interesse Económico Geral), que dizem respeito à política energética nacional.

No caso particular dos CIEGS, estes são compostos por:

- 25% - Sobrecusto da Produção em Regime Especial (essencial/energias não renováveis);
- 23% - Sobrecusto das Regiões Autónomas;
- 30% - Sobrecusto da Produção em Regime Ordinário (centrais térmicas e hídricas);
- 17% - Rendas de Défices de Tarifas;
- 5% - Outros Custos.

Na figura 2.2, retirada do *website* da EDP, é possível observar a distribuição e o peso dos custos que fazem parte da fatura de aquisição de energia elétrica em MT por parte de um cliente final.



**Figura 2.2** - Distribuição dos custos presentes na fatura energética de um cliente comercial fornecido em MT [10]

De salientar que a desagregação dos preços mostrada acima, é apenas aplicável aos consumidores industriais de MT [10].

A empresa tem à sua disposição uma potência real instalada (somatório das potências nominais dos transformadores ligados ao ponto de entrega) de 4.450 kVA, embora o valor apresentado no contrato de fornecimento de energia seja de 3.600 kVA.

A potência instalada não corresponde ao somatório das potências dos transformadores pois, no posto de transformação nº 1 que tinha uma potência instalada de 1.000 kVA, ocorreu um incidente com um transformador e, não existindo transformadores com a mesma potência nominal e de modo a prestar o auxílio imediato, foram instalados transformadores com potência nominal um pouco superior, ficando o posto de transformação com uma potência instalada de 1.250 kVA. A potência instalada não foi alterada na fatura energética por acordo com a EDP visto que os transformadores não estão, normalmente, a funcionar à sua potência nominal [2].

O distribuidor colocou à disposição da empresa uma potência contratada de 2.046 kW.

O consumo global de energia (elétrica ou não) por parte dos consumidores pressupõe atualmente o cumprimento de certas metas. O DL nº 71/2008, de 15 de abril, estabelece metas relacionadas com o aumento da eficiência energética através da aplicação de medidas que resultam de auditorias energéticas de onde, conforme o estado da instalação, sai um plano de racionalização de energia (PREn). De todo o seu clausulado, destacam-se os seguintes artigos:

O artigo 2º, que define que o mesmo é aplicado a instalações consumidoras intensivas de energia (CIE) cujo consumo energético no ano civil anterior tenha sido superior a 500 tep (toneladas equivalentes de petróleo), bem como enumera as exceções de aplicação deste DL.

O artigo 6º, que estabelece o âmbito de realização da auditoria energética bem como a periodicidade da realização de auditorias energéticas obrigatórias às instalações CIE com:

- Consumo igual ou superior a 1.000 tep/ano - de 6 em 6 anos
- Consumo igual ou superior a 500 tep/ano e inferior a 1.000 tep/ano - de 8 em 8 anos

O artigo 7º, que diz respeito ao plano de racionalização do consumo de energia (PREn) e que estabelece o período de retorno do investimento (PRI) das medidas aplicadas e a redução de duas metas designadas como intensidade energética (IE) e intensidade carbónica (IC):

$$IE = \frac{C}{VAB} = \frac{C}{P} \quad (2.1)$$

Onde:

- C é o consumo total de energia (considerando apenas 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis);
- VAB é o valor acrescentado bruto das atividades empresariais diretamente ligadas a essas instalações industriais;
- P é respeitante ao volume de produção.

$$IC = \frac{EG}{C} \quad (2.2)$$



Onde:

- EG é o valor das emissões de gases com efeito estufa resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo;
- C é o consumo total de energia (considerando apenas 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis).

É também neste artigo que, por exemplo para uma CIE cujo consumo energético anual ultrapasse 1.000 tep - como é o caso da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. - é estabelecido que o seu IE deve apresentar uma melhoria de 6% entre as datas de duas auditorias energéticas obrigatórias sucessivas e que, não sendo possível essa melhoria no correspondente IC, este nunca deve apresentar um crescimento entre aquelas duas datas.

Ainda a este propósito, julga-se importante também referir que há várias interpretações no que ao VAB diz respeito. Por isso, o despacho nº 17449/2008 da DGEG estabelece como definição do valor acrescentado bruto a considerar para efeitos de apuramento do IE numa instalação CIE:

$$\begin{aligned} VAB = & \text{Vendas (POC 71) + Prestações de Serviços (POC 72) +} \\ & \text{Proveitos Suplementares (POC 73) +} \\ & \text{Trabalhos para a Própria Empresa (POC 75) -} \\ & \text{Custo das Mercadorias Vendidas e das Matérias Consumidas (POC 61) - (2.3)} \\ & \text{Fornecimentos de Serviços Externos (POC 62) -} \\ & \text{Outros Custos e Perdas Operacionais (POC 65)} \end{aligned}$$

O artigo 12º, que diz respeito aos incentivos recebidos pelo cumprimento do plano de racionalização de energia, incluindo o ressarcimento de 50% do custo de realização das próprias auditorias energéticas, desde que se verifique o cumprimento de um conjunto significativo das medidas nelas propostas (50% das medidas estabelecidas), bem como a devolução de 25% dos investimentos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia (devolução esta que está limitada a um montante máximo de 750 € no primeiro caso - consumo de 500 a 1.000 tep/ano - e de 10.000 € no segundo).

O artigo 14º, que define as penalidades aplicáveis devido ao não cumprimento das metas estabelecidas, se decorrente da não implementação das medidas de racionalização propostas:

- Desvio igual ou superior a +25% face à meta estabelecida conduzirá a um pagamento de 50 € por tep/ano não evitado sendo esse valor agravado em 100% em caso de reincidência;
- Desvio este que, se igual ou superior a +50%, não só implicará o pagamento das coimas acima referidas, como também a devolução dos incentivos recebidos ao abrigo do artigo 12º.

Neste âmbito é ainda de referir que, em 2012, a F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. apresentou um consumo global de energia elétrica que se aproximou de 8 GWh, pelo que, utilizando o fator de conversão fixado no Despacho n.º 17313/2008 da DGEG (1 kWh “elétrico” é equivalente a  $215 \times 10^{-6}$  tep), terá ultrapassado largamente o limiar dos 1000 tep/ano.

## 2.2 - Os Tratamentos Térmicos

A secção dos Tratamentos Térmicos será o foco de interesse nesta dissertação realizada em ambiente empresarial e por isso, será feita uma análise mais detalhada. Esta secção é apenas uma parte da empresa, mas que é bastante importante pois é lá que o consumo de energia é mais expressivo.

O tratamento do aço começa pela sua receção nas instalações, sendo depois preparado para se submeter ao processo de tratamento propriamente dito. Finalizado o processo de tratamento, o aço passa por operações de controlo de qualidade, embalagem e entrega ao cliente.

A secção de Tratamentos Térmicos está agrupada em quatro naves:

- A Nave de Vácuo, que é responsável pelos tratamentos realizados em vácuo (têmpera em vácuo, redução de tensões e nitruração);
- A Nave de Atmosfera Controlada, que engloba todos os tratamentos que necessitam de atmosfera controlada para serem realizados (têmpera em óleo, cementações e carbonitrurações);
- A nave de fornos de recozimento a gás - a este propósito é de salientar que esta nave não fará parte do estudo em questão, já que o objetivo traçado foi o de apenas abranger os equipamentos produtivos consumidores de energia elétrica;
- A Nave de Contínuo (têmpera em óleo e carbonitrurações).

De agora em diante, estes serão os nomes utilizados quando for necessária referência a cada uma das naves. De igual forma, as designações utilizadas no estudo efetuado a partir deste ponto, seja para os quadros elétricos, seja para os processos produtivos e respetivos equipamentos (nomeadamente, aos fornos), correspondem às utilizadas internamente na empresa.

A figura 2.3 mostra que a secção de Tratamentos Térmicos da empresa está então preparada para realizar tratamentos cujas principais características conferidas aos aços são obtidas por tratamentos em vácuo, em atmosfera controlada bem como tratamentos em contínuo.

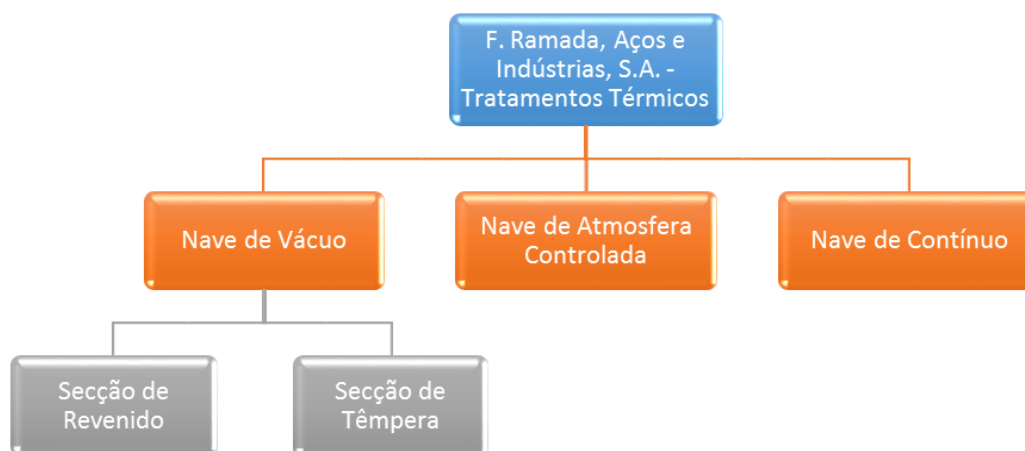


Figura 2.3 - Tratamentos Térmicos na F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

De seguida, na tabela 2.1 estão os vários equipamentos presentes na secção de Tratamentos Térmicos e respetiva localização nas instalações.

**Tabela 2.1** - Equipamentos e respetiva localização na secção de Tratamentos Térmicos

Secção de Tratamentos Térmicos		
Localização		Equipamentos
Nave de Vácuo	Sector de Têmpera	B85T B56RN B74T B84T-1 B84T-2 Máquina de Lavar Vácuo
	Sector de Revenido	B55RN B54RN B54R B54RI B74R Torre de Refrigeração Sistema de Bombagem
Nave de Atmosfera Controlada		B64TC FCA KOS CarboSib Sib Revenido Máquina de Lavar Atmosfera Controlada
Nave de Contínuo		Solo Acertra Safed

### 2.2.1 - Tipos de Tratamentos Térmicos

As propriedades presentes nos diferentes aços são obtidas através do seu tratamento térmico. Esse tratamento consiste numa sequência de aumento e diminuição específicos da temperatura, de modo a atribuir aos aços as propriedades desejadas. As mesmas são ainda conseguidas tendo em conta os tempos e velocidades a que o aço é aquecido e arrefecido, pois estes fatores vão afetar as suas características internas [11].

A variação da temperatura tem como principal objetivo alterar a microestrutura inicial do aço. Cada tipo de aço tem uma temperatura crítica associada em que a transformação da microestrutura inicial ocorre.

O controlo das temperaturas de aquecimento e de arrefecimento, bem como o controlo das respetivas rampas, levará à formação de microestruturas que possuem as propriedades desejadas nos aços.

De salientar ainda que, para além das temperaturas utilizadas e das velocidades e tempos de aquecimento e de arrefecimento, também o tipo de atmosfera envolvente durante todo o processo é outro dos principais parâmetros do processo a considerar.

Há diferentes tratamentos térmicos; aqui, apenas serão alvo de uma pequena descrição os processos que ocorrem na secção de Tratamentos Térmicos da empresa. Os processos desenvolvidos são então:

- Têmpera
- Recozimento
- Alívio de tensões
- Cementação
- Carbonitruração
- Nitruração
- Nitrocarburação
- Tratamentos criogénicos

A têmpera é um tratamento térmico que visa o endurecimento do aço e que consiste em aquecer o material até uma dada temperatura (normalmente entre os 860 °C e os 1.060 °C) onde se dá a formação de austenite, que é o ponto de partida para conferir aos aços as propriedades desejadas. Após atingir esta temperatura e decorrido o tempo necessário para haver alteração da microestrutura do aço, há então lugar a um posterior arrefecimento rápido do mesmo, de forma a originar o constituinte mais duro do aço, chamado martensite [2].

Na empresa, a têmpera pode ser realizada em dois ambientes: em vácuo e em atmosfera controlada. No primeiro caso, o arrefecimento é feito sob fluxo de azoto; no segundo caso, é realizado por imersão do produto em óleo.

Após o arrefecimento rápido aplicado às peças, estas são sujeitas a um novo ciclo térmico (revenido) com vista a aumentar a sua resistência ao choque. Tendo em conta o número de ciclos térmicos aplicados ao aço após o processo de têmpera, o revenido diz-se simples, duplo ou triplo. Em qualquer caso, o revenido sacrifica sempre um pouco a dureza atingida pelo aço durante a sua têmpera.

No recozimento, o aço também é aquecido até à fase em que a sua microestrutura é constituída por austenite, mas sucede-lhe um arrefecimento lento que é realizado no interior do próprio forno [11].

O arrefecimento é a fase mais importante, pois é nesta fase que há a formação dos microconstituintes que vão tornar o aço mais “macio”. Assim sendo, este processo é usado maioritariamente com o intuito de reduzir a dureza e libertar tensões internas [11].

O amaciamento do aço é conseguido através de um dos seguintes processos:

- Uma austenitização total, na qual a estrutura inicial é totalmente substituída por uma outra formada a alta temperatura e designada por austenite;
- Um tratamento subcrítico, no qual as transformações que ocorrem são a globulização de carbonetos e a recristalização dos grãos ferríticos.

O amaciamento acima descrito leva o aço aos valores mínimos de dureza possíveis de atingir.

O alívio de tensões é um tratamento realizado a temperaturas que variam entre os 550 °C e 650°C, não promovendo transformações microestruturais, mas que fornece energia suficiente para movimentações internas dos átomos, com vista à libertação das tensões existentes no interior das peças após maquinação ou soldadura.

A cementação é um tratamento térmico que visa o endurecimento superficial do aço através da incorporação de carbono na sua superfície, seguido de um arrefecimento rápido. A difusão de carbono é conseguida pelo fornecimento de carbono proveniente da atmosfera envolvente que é constituída à base de hidrocarbonetos (propano, metanol, etileno), isto é, gases ricos em carbono. Um maior tempo de permanência das peças a uma dada temperatura fará com que haja uma maior penetração do carbono no aço.

Após arrefecimento rápido em óleo, as zonas mais ricas em carbono vão endurecer mais do que o núcleo, que possui uma concentração de carbono mais baixa. Desta forma, é conferida ao aço uma elevada resistência superficial ao desgaste, possuindo o núcleo uma alta tenacidade. Como resultado, a superfície do aço resiste ao desgaste enquanto o seu núcleo é mais resistente ao choque. Quando, para além dos hidrocarbonetos introduzidos na atmosfera interior do forno, é introduzido adicionalmente o amoníaco, o processo passa a designar-se por carbonitruração.

No tratamento térmico a que se dá o nome de nitruração, o enriquecimento superficial do aço é conseguido com recurso a azoto, que forma nitretos duros (Fe-X N-Y) na superfície do aço, conferindo-lhe uma elevada resistência ao desgaste. Este tratamento é realizado na secção de Tratamentos Térmicos da empresa pelo processo de baixa pressão.

Neste processo, as peças são aquecidas a temperaturas compreendidas entre 480°C e 550°C sob fluxo de amoníaco, cuja pressão de trabalho é inferior à pressão atmosférica. Este facto leva a que seja necessário recorrer às bombas de vácuo, de modo a que estas criem uma depressão e permitam que o gás circule no interior do forno para a superfície e orifícios das peças.

À gama de temperaturas indicada, o azoto dissocia-se libertando azoto ativo que é capaz de se incorporar no aço e, combinando-se com os elementos presentes na composição química do aço, leva à formação de nitretos duros. Para que seja alcançado um maior endurecimento, podem ser introduzidos na atmosfera do forno gases ricos em carbono de modo a que, para além dos nitretos, se formem também carbonitretos, designando-se este processo por nitrocarburação.

Os tratamentos criogénicos são aplicados com vista a aumentar a dureza e a resistência ao desgaste e à fadiga dos aços. Estes tratamentos realizam-se por arrefecimento das peças desde a temperatura ambiente até temperaturas no domínio dos -80°C a -196°C.

### 2.2.2 - Classificação de Fornos

A realização de tratamentos térmicos requer a utilização de fornos que têm de ser escolhidos conforme o tratamento térmico que se quer aplicar ao aço. Há fornos em que os ciclos de trabalho são realizados em atmosfera convencional, na secção de Tratamentos Térmicos da empresa, os ciclos de trabalho dos fornos são realizados em vácuo ou em atmosfera controlada. São esses os fornos que vão ser tratados nesta secção.

Embora exista uma grande variedade de fornos a vácuo, todos têm de possuir um conjunto de equipamentos associados [7]:

- Elementos responsáveis pelo aquecimento, de modo a fornecer as temperaturas adequadas a cada processo;
- Bombas de vácuo, responsáveis pela atmosfera no interior do forno;
- Caixas de vácuo apropriadas, com acessos adequados;
- Equipamento de monitorização, para aquisição de informação relevante.

Os fornos mais usados na indústria metalúrgica são os fornos de “parede fria”, do inglês *cold-wall furnaces*. Nestes fornos, a transferência de calor é realizada por radiação e o uso do vácuo permite a utilização de resistências de grafite (por exemplo), facilitando o aquecimento e o arrefecimento da atmosfera que, como já foi anteriormente referido, é um parâmetro bastante importante.

É de salientar que, neste tipo de fornos, o arrefecimento é conseguido através de um aumento da pressão resultante da introdução de um gás inerte, de modo a que a sua circulação torne o processo de arrefecimento mais rápido.

A utilização de vácuo permite também ter a grafite, o molibdénio e o tungsténio como materiais responsáveis pelo isolamento e construção dos fornos, o que já não seria possível com outras atmosferas internas.

No respeitante ao movimento da carga durante o processo, os fornos de “parede fria” podem ser classificados em dois tipos: “fornos de fornada” e “fornos contínuos”. No primeiro tipo, a carga mantém-se estacionária durante todo o processo de aquecimento, enquanto, no último, a carga passa de câmara em câmara à medida que os passos do tratamento térmico são concluídos.

Analisando agora o modo como a carga é introduzida no forno, há três tipos de fornos:

- Forno de carregamento Inferior (*Bottom-Loading Furnace*)
- Forno de carregamento Superior (*Top-Loading Furnace*)
- Forno de carregamento Horizontal (*Horizontally Loading Furnace*)

De seguida são apresentadas algumas figuras esquemáticas que, podendo não estar inteiramente corretas, apenas pretendem dar uma perspetiva ao leitor de como se organizam os vários tipos de fornos.

Na figura 2.4 está representado um forno onde o carregamento é realizado pela parte inferior. Estes fornos são bastante elevados acima do nível do solo, sendo que o seu fundo desce de modo a permitir colocar a carga dentro do forno. Estes fornos são utilizados para suportar grandes e pesadas cargas e o seu arrefecimento processa-se rapidamente através da circulação de um gás pelo forno.

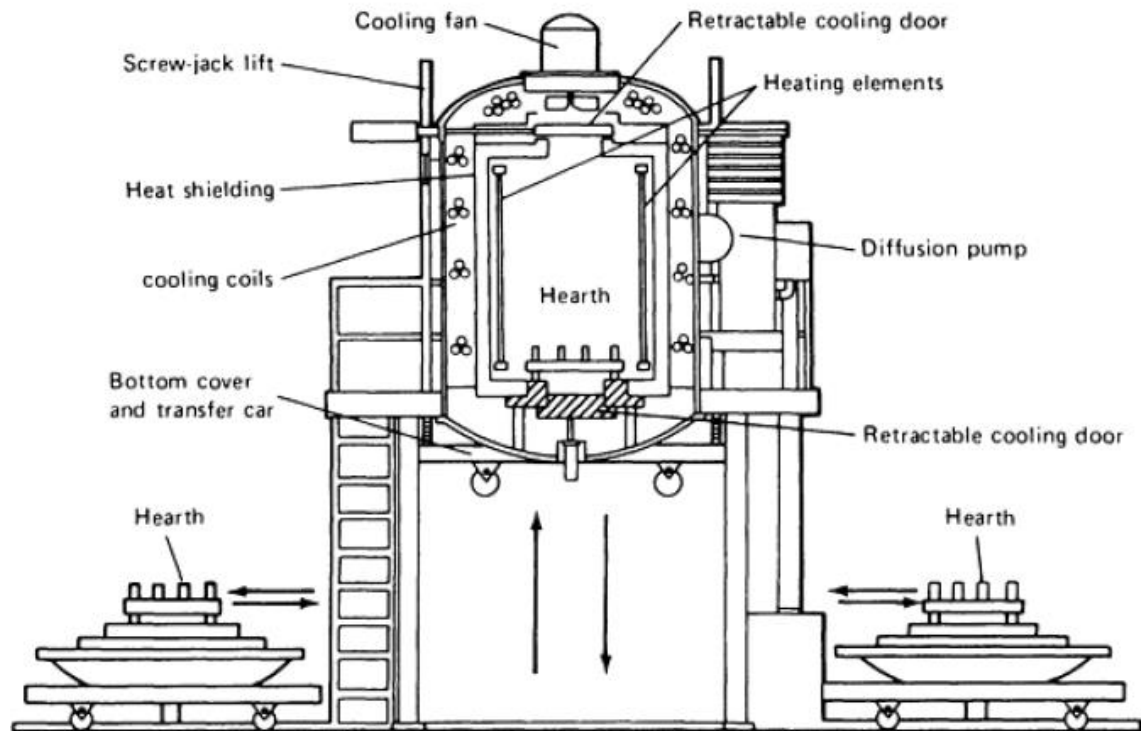


Figura 2.4 - Estrutura de um forno de carregamento inferior [7]

Os fornos cujo carregamento é realizado pelo topo superior são utilizados quando há necessidade de tratar peças compridas e poucas espessas. As peças são suspensas na vertical, em cabides que estão fixos ao topo amovível. As peças podem também ser colocadas na base do forno. O arrefecimento processa-se da mesma maneira que nos fornos de carregamento inferior.

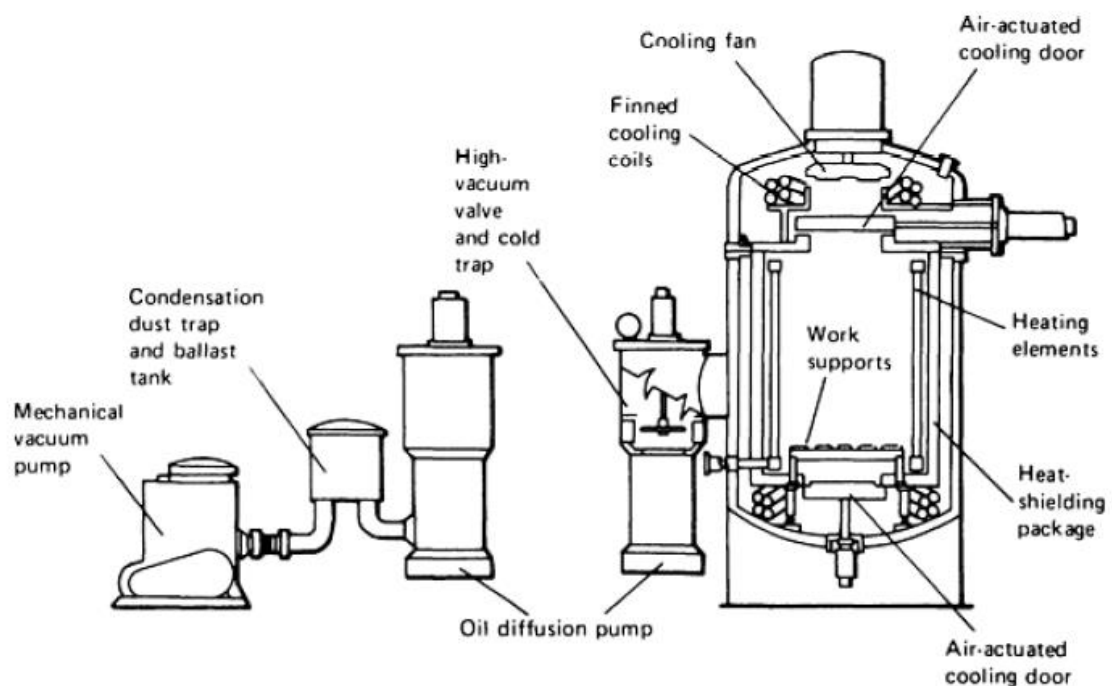


Figura 2.5 - Estrutura de um forno de carregamento superior [7]

Nos fornos cujo carregamento é feito horizontalmente há uma grande variedade de opções, sendo que a que se encontra nas instalações da empresa é a que está representada na figura 2.6.

Nestes fornos, o carregamento é realizado com auxílio de equipamentos que conseguem levantar a carga e colocá-la nas bases do forno. Normalmente, as bases do forno possuem rodas que permitem puxar a estrutura para o exterior de modo a acomodar a carga da forma mais adequada e assim aproveitar melhor o aquecimento no interior do forno.

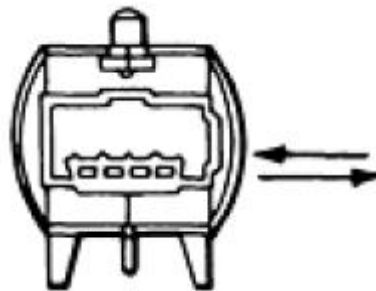


Figura 2.6 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal [7]

Os fornos de carregamento horizontal podem ter duas variantes quanto à forma como se processa o aquecimento. Nas figuras 2.7 e 2.8 mostra-se um exemplo de cada uma dessas variantes, através de um corte vertical.

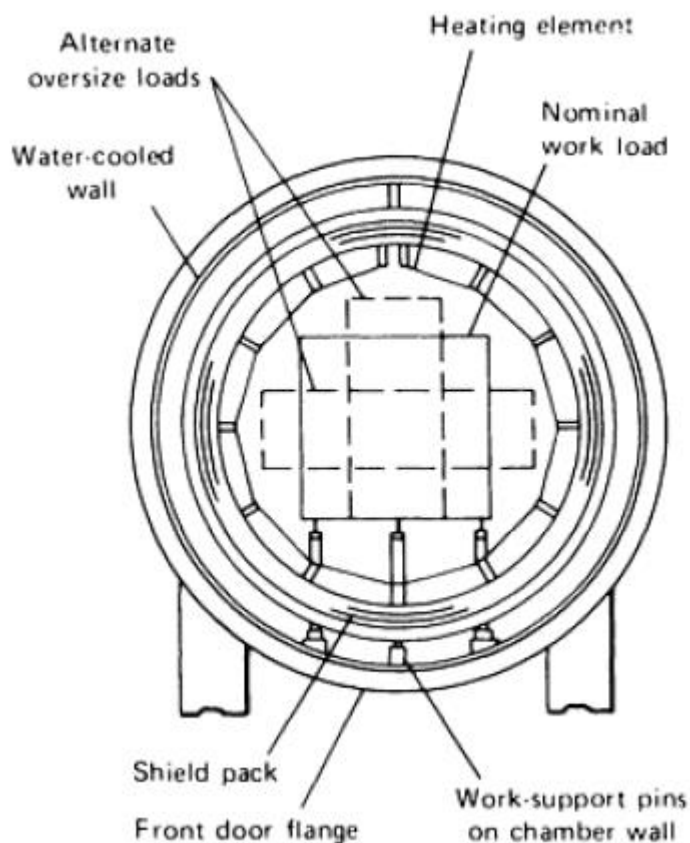


Figura 2.7 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal sem câmara de isolamento [7]



Na variante apresentada na figura 2.7, a carga é exposta diretamente ao calor libertado pelos elementos responsáveis pelo aquecimento, não havendo qualquer tipo de isolamento; pelo contrário, na variante representada na figura 2.8, o forno já possui um isolamento térmico que melhora as condições durante o processo pois limita as perdas caloríficas.

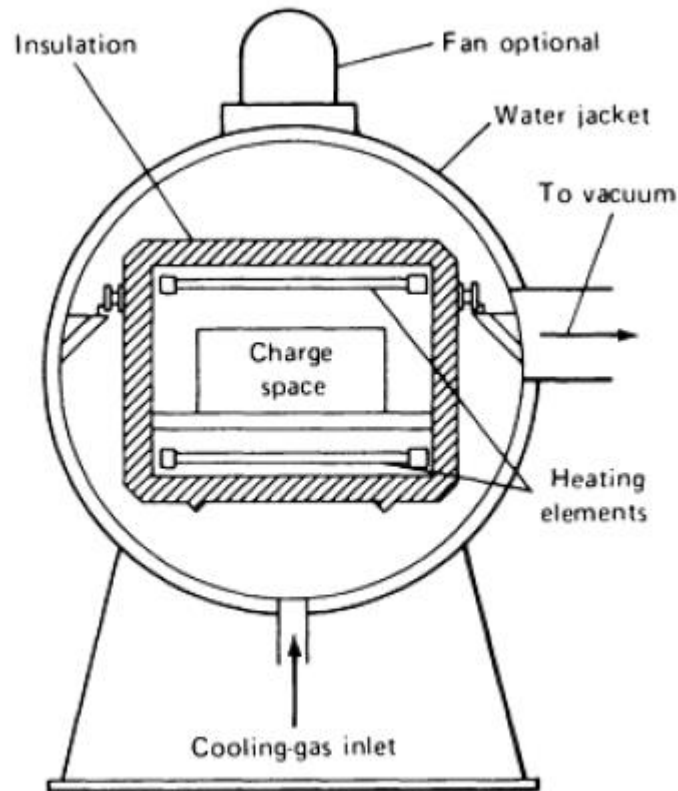


Figura 2.8 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal com câmara de isolamento [7]

Na secção de Tratamentos Térmicos da empresa, os fornos são de carregamento horizontal com câmara de isolamento.

Os fornos acima apresentados dizem respeito ao tratamento de aços com recurso ao vácuo. Como já referido, na secção de Tratamentos Térmicos, há ainda uma nave cujos tratamentos aplicados aos aços são realizados em atmosfera controlada. Na figura 2.9 apresenta-se a estrutura desse mesmo tipo de fornos onde é possível observar que estes possuem normalmente três partes distintas:

- Uma dessas partes é o local onde se coloca a carga, funcionando como uma espécie de "hall de entrada" do forno;
- Após fecho da porta do forno, a carga é deslocada do "hall" para a câmara seguinte, onde decorrerá o processo de aquecimento propriamente dito;
- A última parte diz respeito ao tanque de óleo, onde as peças são mergulhadas de modo a provocar-lhes o arrefecimento desejado.

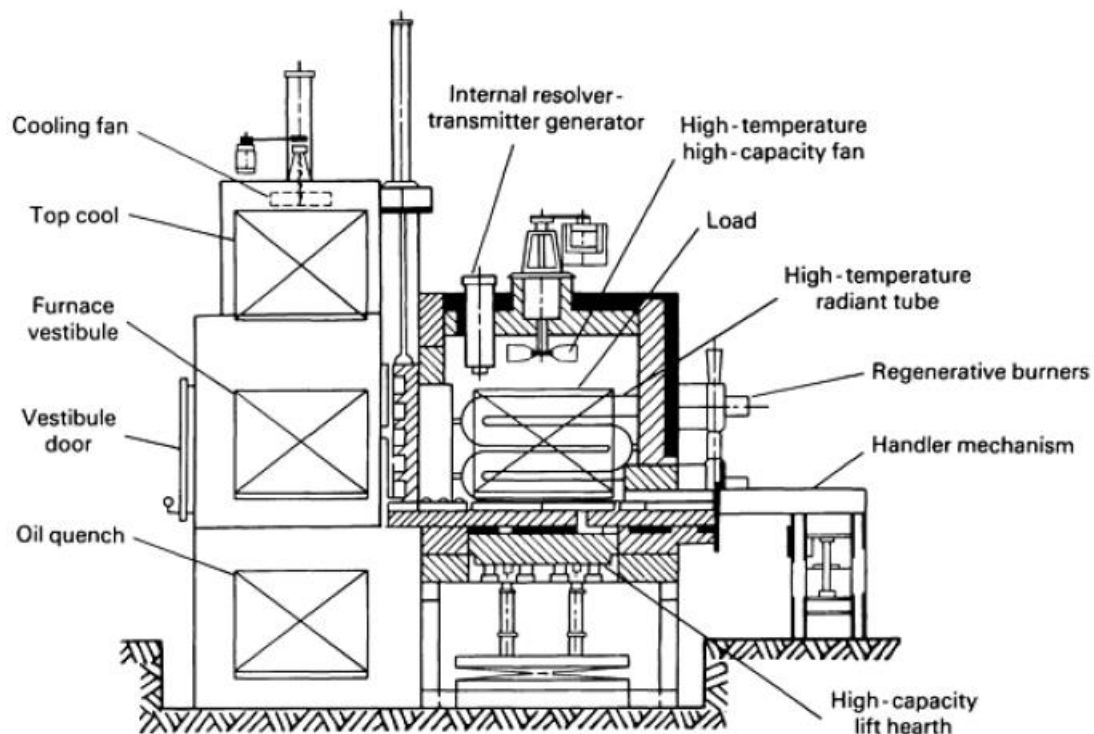


Figura 2.9 - Estrutura de um forno de carregamento horizontal de atmosfera controlada

No entanto, a Nave de Contínuo como o próprio nome indica, tem um forno que se distingue dos restantes - um forno contínuo.

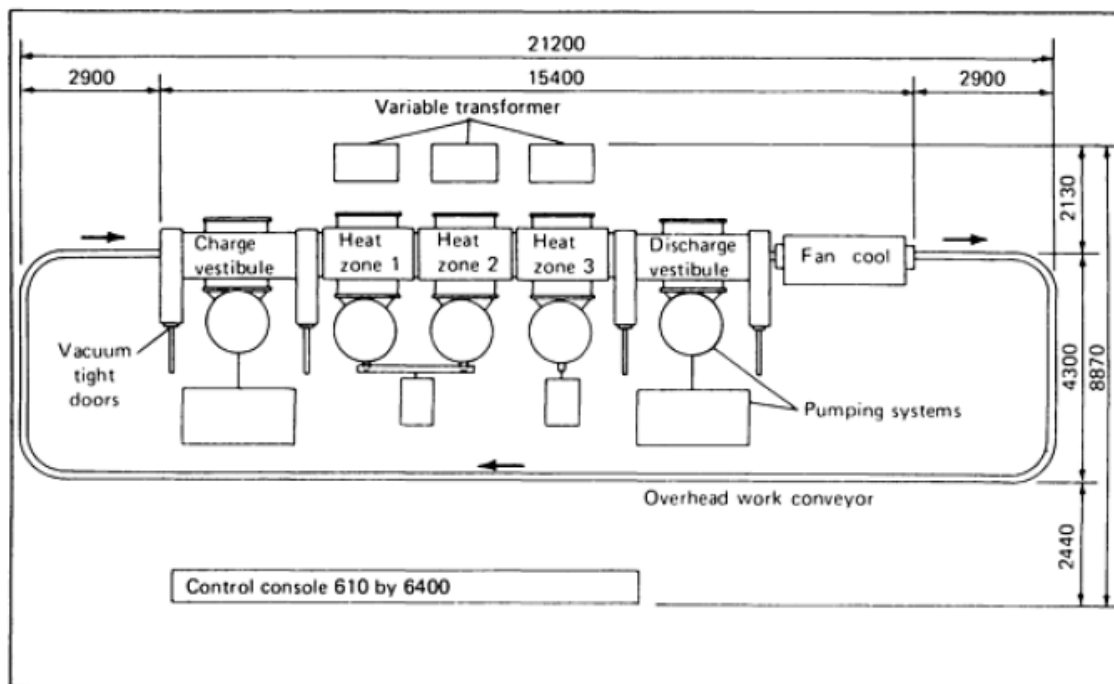


Figura 2.10 - Estrutura de um forno contínuo [7]

O forno contínuo é constituído por unidades modulares, normalmente com três ou mais câmaras. A temperatura em cada uma das câmaras pode ser mantida durante o processo de carregamento e descarga do material a tratar/tratado.

Quando comparadas na sua essência, a principal diferença entre a constituição da solução apresentada na figura 2.8 com a deste tipo de forno, reside no facto de esta última ter um sistema que permite transportar o material ao longo da câmara e entre os diferentes módulos.

Na figura 2.10 é ainda possível observar a existência de uma zona com ventoinhas no fim da linha de transporte, cujo principal objetivo é o de permitir o rápido arrefecimento das peças tratadas, arrefecimento este que pode ser concluído através do mergulho das peças num banho de óleo. Após a finalização do tratamento, as peças são retiradas do forno, mas com regularidade é encontrada uma linha de transporte do material tratado da saída para o início do forno caso seja necessária a realização de um novo tratamento térmico de modo a que o aço obtenha as propriedades desejadas.

Como não poderia deixar de ser, todos os elementos constituintes deste tipo de forno estão interligados entre si e toda a operação do forno é realizada de forma automática de modo a facilitar todo o processo.

Na tabela 2.2 podem observar-se os fornos presentes na secção de Tratamentos Térmicos, a sua classificação, carga e potência nominais.

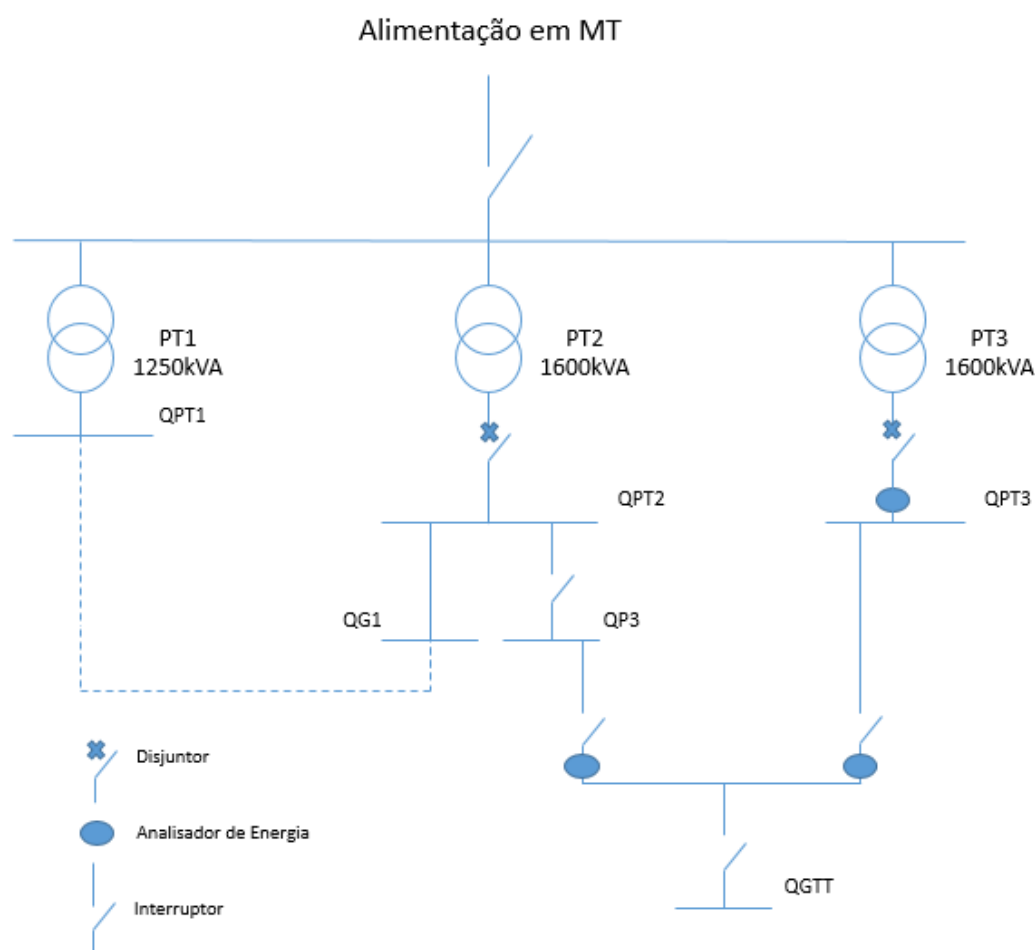
**Tabela 2.2** - Dados referentes aos fornos presentes na secção de Tratamentos Térmicos

Secção de Tratamentos Térmicos			
Equipamentos	Tipo de Forno	Potência Nominal (kVA)	Carga Nominal (kg)
B85T	Carregamento	325	1.200
B56RN	Horizontal Com	445	2.000
B74T	Câmara de	150	500
B84T-1	Isolamento - Forno de	200	600
B84T-2	Vácuo	175	600
B55RN	Carregamento	150	800
B54RN	Horizontal Com	90	600
B54R	Câmara de	80	600
B54RI	Isolamento - Forno de	120	400
B74R	Vácuo	100	500
B64THC	Carregamento	220	500
FCA	Horizontal - Forno de	66,8F/55,2Q (*)	400
KOS	Atmosfera Controlada	81,5F/71,6Q (*)	400
Solo	Contínuo	117	50 kg/h
Notas: (*) Valores “a frio” (F) e “a quente” (Q)			

## 2.3 - Caracterização e Análise das Infraestruturas Elétricas

### 2.3.1 - Infraestruturas Elétricas da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

Na figura 2.11 está representado, simplificada, o esquema geral de distribuição de energia elétrica (em MT, a 15 kV, e em BT, a 400-230 V) da F. Ramada, sendo possível perceber que na instalação existem três postos de transformação 15.000/400-230 V e que a sua alimentação provém de uma linha de média tensão (também ela a 15 kV) cujo ponto de receção está situado perto do posto de transformação nº. 2 (PT2).



**Figura 2.11** - Esquema simplificado da infraestrutura elétrica da empresa

Por sua vez, o posto de transformação nº. 1 (PT1) e o posto de transformação nº. 3 (PT3) são alimentados, a partir do posto de receção, por meio de cabos de média tensão subterrâneos dedicados.

Todos os postos de transformação possuem um quadro geral de baixa tensão (QGBT) onde, para além de saídas para alimentação de outros quadros parciais, existem as saídas para a iluminação do mesmo, alimentação de tomadas localizadas no seu interior e uma reserva.

No posto de transformação nº. 1 está ligada a cogeração existente na F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.. Na grande maioria do tempo, esta encontra-se desativada sendo apenas ativada quando o custo de aquisição de energia à EDP é superior ao custo da energia gerada

com recurso à cogeração. A cogeração é explorada pela empresa e serve unicamente para consumo interno, não sendo por isso utilizada para a comercialização de energia.

No caso particular do posto de transformação nº. 2, o seu QGBT alimenta dois quadros parciais: o QG1 e o QP3:

- O quadro parcial QG1 permite a ligação em BT ao posto de transformação nº. 1, ligação esta estabelecida com o objetivo de socorrer a instalação servida pelo PT2 em caso de indisponibilidade deste. Atualmente, esta ligação encontra-se desativada.
- Por sua vez, o quadro parcial QP3, para além das suas normais saídas para iluminação do PT e reserva, possui também saídas para a alimentação de dois quadros parciais que já não pertencem à secção de Tratamentos Térmicos e, uma outra exclusivamente dedicada à alimentação o quadro dos Tratamentos Térmicos (QGTT).

Assim, e como é também possível observar na figura 2.11, o QGTT é duplamente alimentado: uma dessas alimentações vem, como referido acima, do QP3 e, a outra, é proveniente do QPT3.

A este propósito refira-se que o posto de transformação nº. 3 foi instalado unicamente com o intuito de reforçar a alimentação da secção dos Tratamentos Térmicos da empresa, motivo pelo qual, para além das normais saídas para alimentação de iluminação do posto de transformação, apenas possui uma saída para alimentação do QGTT.

Perante esta topologia, evidenciadora das adaptações/ampliações que as infraestruturas energéticas da empresa foram sofrendo ao longo dos anos da sua laboração, torna-se relevante explicar como se desenvolverá todo o processo de recuperação interna do fornecimento de energia elétrica à secção de Tratamentos Térmicos da empresa na eventualidade duma indisponibilidade em qualquer um dos postos de transformação alimentadores (PT2 e PT3, com 1.600 kVA cada).

Em caso de falha de algum deles, se a potência total a alimentar for inferior a 1.600 kVA, o posto de transformação em funcionamento conseguirá assegurar o bom funcionamento das instalações enquanto se procura a razão da falha. Mas, se a potência total a alimentar for superior a 1.600 kVA, o posto de transformação subjacente entrará em sobrecarga, sendo provável o disparo do correspondente disjuntor.

Neste caso, de modo a suprir as necessidades energéticas das instalações de tratamentos térmicos, há ainda a possibilidade de recorrer à ativação da ligação em BT existente entre os quadros QPT1 e QG1 enquanto o problema que causou o defeito não estiver resolvido.

Logo, reconhece-se que existe uma certa redundância na alimentação elétrica da secção de Tratamentos Térmicos da empresa, se bem que a mesma exija a intervenção de um operador já que os aparelhos de corte e proteção envolvidos são de comando manual.

Nesta dissertação será apenas tratada a parte referente à alimentação do quadro geral dos tratamentos térmicos (QGTT).

Já no capítulo da medição dos consumos elétricos verificados internamente na empresa, na figura 2.11 é ainda possível verificar a presença de apenas três analisadores de energia. Um destes, que se encontra representado num nível superior da figura, tem como objetivo a medição da energia elétrica globalmente proveniente do posto de transformação nº. 3, nela incluindo a que transita para o “interior” das instalações dos Tratamentos Térmicos. Já os analisadores de energia representados no patamar inferior da figura têm única e

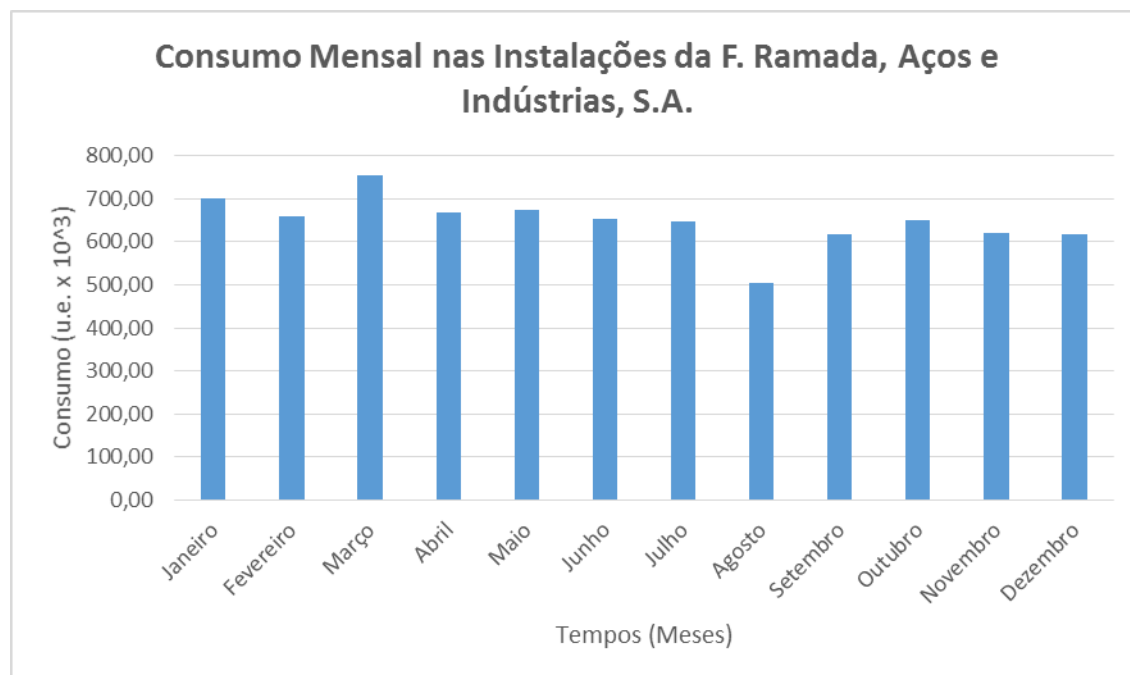
exclusivamente como objetivo medir os consumos elétricos efetuados pela secção de Tratamentos Térmicos da empresa.

A este propósito é de referir estranhar-se a presença de dois analisadores de energia “em série”, pois o que os dois medem é praticamente o mesmo: no analisador de energia colocado à saída do posto de transformação nº. 3, transita o consumo total requerido do mesmo (incluindo para a iluminação interna do PT e para a sua tomada para usos gerais), seja para a secção de Tratamentos Térmicos, seja para a alimentação da saída de reserva (caso esta venha a ser utilizada), enquanto que pelo analisador de energia do nível inferior apenas transita a parte desse consumo imputável à secção de Tratamentos Térmicos. Ora, como é evidente, os gastos efetuados pela iluminação interior do PT e pela sua tomada apresentam-se insignificantes quando comparados com o consumo efetuado pela secção de Tratamentos Térmicos.

Por fim, e como também representado na figura 2.11, é de referir que as diversas canalizações de saída dos postos de transformação da empresa são protegidas por disjuntores, mas o seu comando (corte/ligação) é assegurado por interruptores em série com aqueles, alegadamente por motivação económica aquando do estabelecimento de tais infraestruturas elétricas.

### 2.3.2 - Consumos Elétricos Globais da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

Utilizando agora os dados fornecidos pela empresa, relativos às faturas de aquisição da energia elétrica por ela consumida ao longo do ano de 2012, foi possível apurar a distribuição mensal dos consumos elétricos globais da mesma. É o que se mostra no gráfico 2.1 para o caso particular da energia elétrica ativa, expressa em u.e. (unidades de energia) pelo motivo indicado na Lista de Símbolos desta dissertação.



**Gráfico 2.1** - Distribuição mensal de consumos globais de energia elétrica ativa nas instalações da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. [2]

Com base nas mesmas faturas de compra, foi também possível apurar o custo unitário efetivo de aquisição da mesma energia elétrica ativa que, em 2012, atingiu 0,125 €/kWh. Este valor foi obtido através da razão entre o custo total de aquisição (IVA excluído) e consumo total de energia elétrica ativa, ambos durante o mesmo período.

Na análise aos consumos efetuados ao longo do ano 2012, é também importante perceber qual a distribuição dos mesmos por períodos tarifários, de modo a perceber se a energia consumida foi gasta nos períodos em que a energia elétrica se apresenta mais cara (horas de ponta) ou mais barata (horas de super vazio) para o consumidor.

É o que se mostra na tabela 2.3 para o caso particular da energia elétrica ativa consumida pela empresa em 2012:

**Tabela 2.3** - Distribuição de consumos globais de energia elétrica ativa por períodos tarifários

F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.		
Períodos Tarifários	Consumo (u.e. x 10 <sup>3</sup> )	Repartição (%)
Vazio Normal	1.786,78	22,99
Super Vazio	1.000,12	12,96
Ponta	899,82	11,58
Cheia	4.078,49	52,48

Por análise da distribuição anterior parece ser possível afirmar que o consumo global de energia elétrica ativa nas instalações da empresa é predominantemente diurno, em dias úteis - períodos de horas cheias e de ponta - evidenciando alguns cuidados para ser menos intenso durante as horas de ponta.

Já o mesmo não parece acontecer no respeitante à distribuição da energia elétrica ativa consumida pelas instalações da empresa nos dois subperíodos de vazio - vazio normal e super vazio - pois evidencia consumos agregados mais intensos durante o primeiro.

Quanto à energia elétrica reativa globalmente consumida (fora das horas de vazio) e/ou emitida (durante as horas de vazio) pelas instalações da empresa ao longo do ano de 2012, é possível afirmar-se que a mesma é puramente residual, não sendo por isso relevante a sua contribuição para o custo unitário efetivo de aquisição de energia elétrica apurado. O que mostra que o sistema de compensação global se encontra bem dimensionado e controlado.

Finalmente e no que diz respeito às parcelas de potência alvo de faturação por parte do fornecedor de energia elétrica, verificou-se que a potência contratada pela empresa se manteve constante ao longo de todo o ano de 2012 - como já referido, igual a 2.046 kW, ou seja, 50% da potência atualmente instalada nos 3 postos de transformação da mesma.

Para avaliar a adequação do valor de potência atualmente contratada, recorreu-se à sua comparação com o maior valor da potência mensalmente tomada nas instalações que, como se sabe, corresponde de certa forma a um consumo de pico. Para o efeito e por questões de simplicidade, admitiu-se como constante, ao longo de todos os meses do ano, o fator de potência médio mensal das instalações em apreço, tomando-o igual a  $\cos\varphi = 0,94$  ind., valor este correspondente ao mínimo mensal apurado pelo fornecedor de energia fora das horas de vazio.

É o que se apresenta apresenta na tabela 2.4 e no gráfico 2.2.

Tabela 2.4 - Valores mensais da potência tomada em 2012

F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.	
Meses	Potência Tomada (kVA)
janeiro	1.324
fevereiro	1.239
março	1.338
abril	1.449
maio	807,2
junho	717,0
julho	530,1
agosto	630,7
setembro	694,7
outubro	756,0
novembro	1.086
dezembro	808,4

Da análise dos mesmos e para além de se verificar que os maiores picos de consumo ocorrem sistematicamente durante os meses mais frios, também parece possível inferir a possibilidade de renegociação do valor da potência contratada junto do fornecedor de energia elétrica: os cerca de 1,5 MVA atingidos em abril de 2012 estão bem abaixo dos 2,05 MVA atualmente contratados. Com clara vantagem em termos de redução do custo unitário efetivo de compra da energia elétrica globalmente adquirida pela empresa.

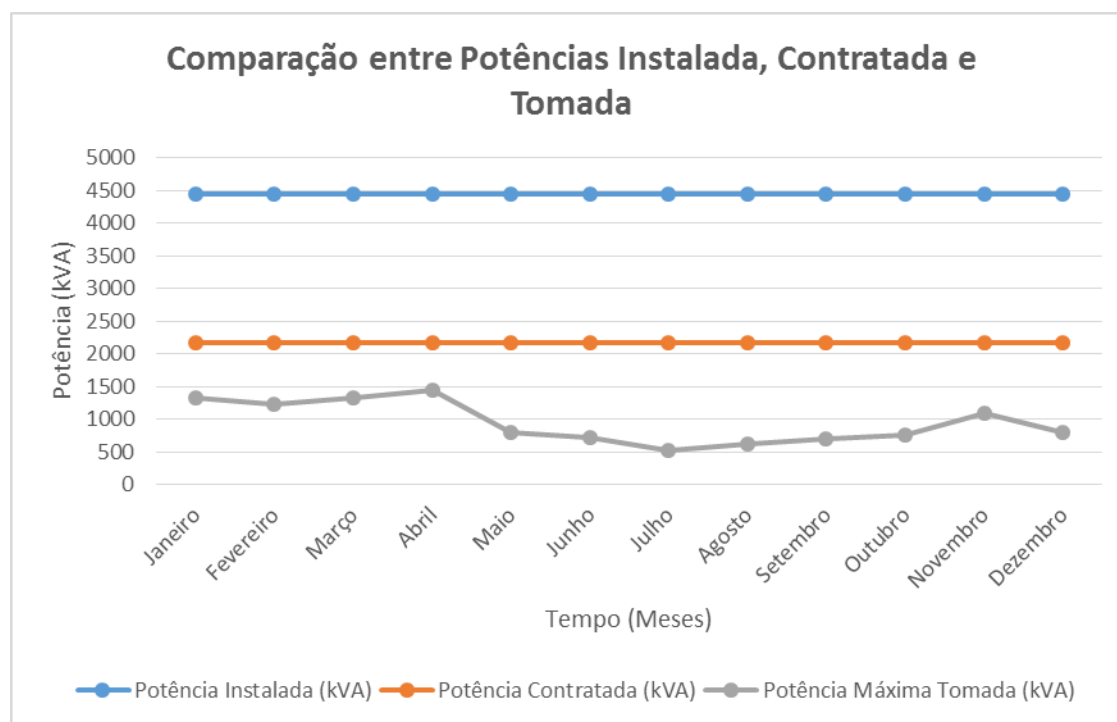


Gráfico 2.2 - Potências instalada, contratada e tomada



### 2.3.3 - Infraestruturas Elétricas da Secção de Tratamentos Térmicos

Como já se referiu, a secção de Tratamentos Térmicos da empresa possui um quadro elétrico geral (QGTT), que é duplamente alimentado a partir do QPT3 e do QPT2.

É ao QGTT que estão ligados os quadros elétricos parciais referentes a cada uma das naves da secção.

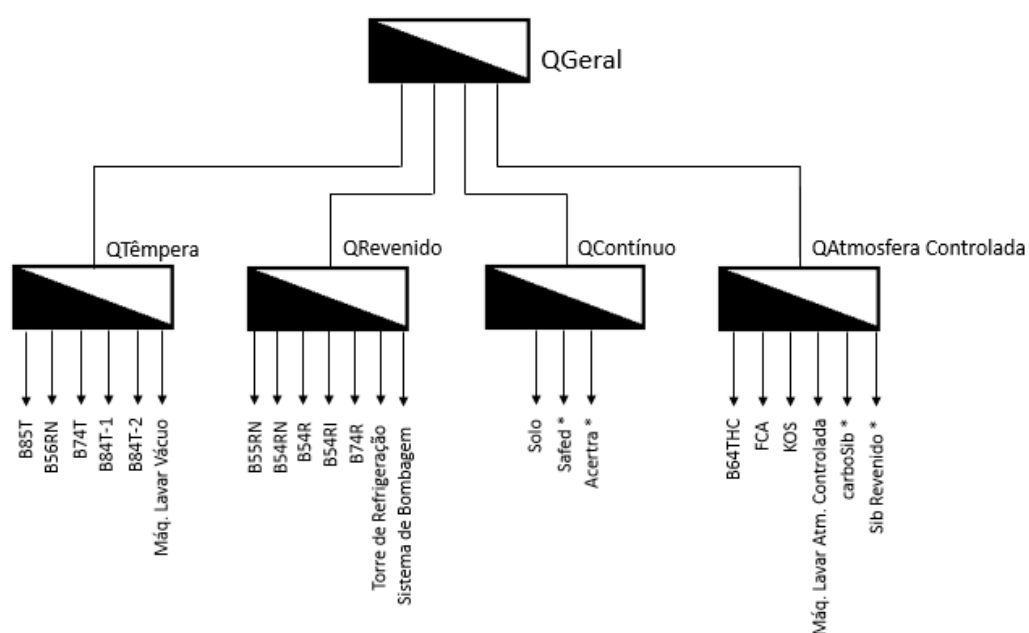
Assim, associado a cada nave encontra-se um quadro elétrico dedicado, responsável pela alimentação do conjunto de equipamentos nela instalados, que são em grande parte fornos. No entanto, em alguns destes quadros elétricos estão também ligados outros equipamentos que não contribuem diretamente para o tratamento do aço, mas que são bastante importantes no funcionamento de todo o processo produtivo.

É o que se representa esquematicamente na figura 2.12.

Num patamar superior da mesma aparece o QGeral, que corresponde ao QGTT presente na figura 2.11.

Num patamar inferior é possível observar que o QGeral possui quatro saídas que alimentam os quadros elétricos parciais da secção de Tratamentos Térmicos e que, de acordo com o sector servido, foram apelidados QTêmpera, QRevenido, QContínuo e QAtmosfera Controlada.

Destes, os quadros QTêmpera e QRevenido situam-se na Nave de Vácuo; os restantes situam-se nas naves com o mesmo nome.

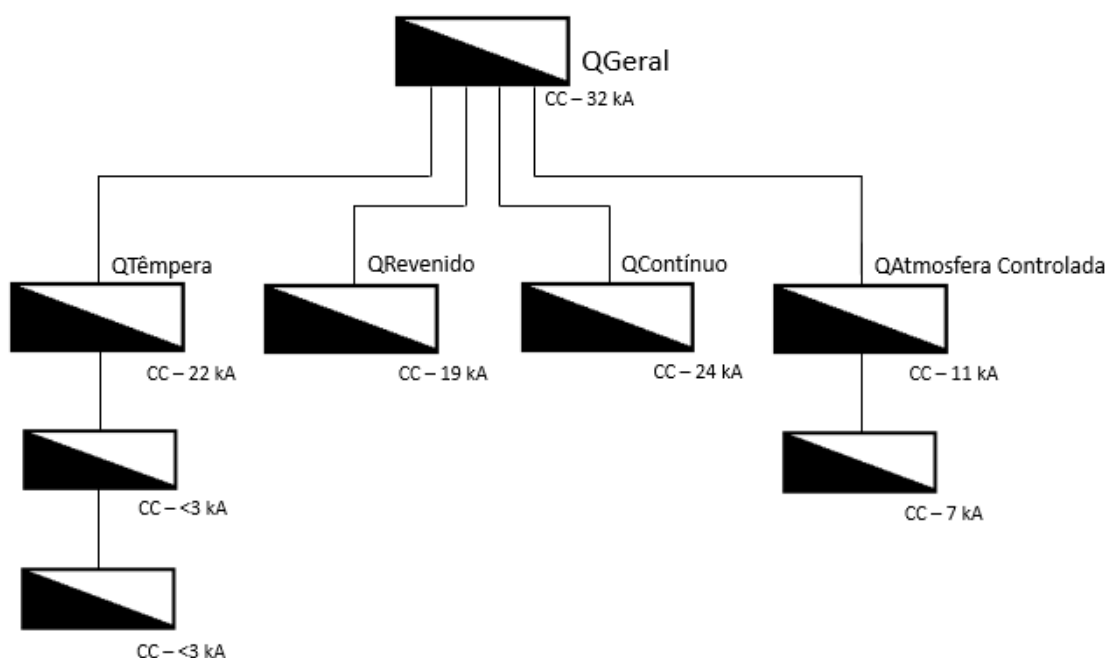


\*Equipamentos que não foram alvo de estudo

**Figura 2.12** - Organograma de quadros elétricos e correspondentes equipamentos na secção de Tratamentos Térmicos

Tal como se esquematiza simplificadaamente na figura 2.13:

- É a partir do QTêmpera que são alimentados os fornos destinados ao processo de têmpera do aço, uma máquina de lavar, uma ponte rolante, o sistema de iluminação interior da Nave de Vácuo e o correspondente conjunto de tomadas (monofásicas e trifásicas). A que acrescem uma saída de reserva e uma outra para alimentação do quadro dos escritórios da secção. Por sua vez, este quadro parcial secundário, para além dos equipamentos afetos aos escritórios (como, por exemplo, equipamentos de ar condicionado, terminal de fax, computadores, tomadas monofásicas de usos gerais e iluminação), alimenta ainda um outro quadro elétrico terciário, destinado à iluminação de um pequeno armazém e das casas de banho da secção.
- É a partir do QRevenido que são alimentados os cinco fornos destinados ao processo de revenido, bem como o sistema de refrigeração e bombagem da secção de Tratamentos Térmicos.
- É a partir do QContínuo que são alimentados um conjunto variado de fornos presentes na respetiva nave, uma ponte rolante, o sistema de iluminação interior da mesma nave, as correspondentes tomadas (monofásicas e trifásicas) e o sistema de exaustão. Durante a realização do presente estudo apenas dois dos fornos instalados na Nave de Contínuo se encontravam ativados e destes, o de maior consumo é, sem dúvida, o forno Solo. Ao QContínuo está associada uma corrente de CC no valor de 24 kA, o que parece exagerado face às necessidades atuais (provavelmente fruto de um sobredimensionamento da canalização de alimentação do Qcontínuo).
- É a partir do QAtmosfera Controlada que são alimentados os fornos responsáveis pelos tratamentos realizados em atmosfera controlada e todo o equipamento auxiliar necessário ao funcionamento dos mesmos, uma máquina de lavar, tomadas (monofásicas e trifásicas) e o sistema de exaustão. A que acrescem saídas para um sector de manutenção e para um quadro parcial secundário. Neste último quadro apenas se encontra em serviço um reduzido número de saídas, sendo as restantes de reserva. Assim, ele alimenta uma ponte rolante, os sistemas de iluminação interior da nave (normal e de emergência), as correspondentes tomadas (mono e trifásicas) e o sistema de exaustão.



**Figura 2.13** - Organograma detalhado de quadros elétricos na secção de Tratamentos Térmicos

Por último refira-se que todas as saídas dos quadros elétricos instalados no interior das naves da secção de Tratamentos Térmicos são protegidas por disjuntores adequados, estando os quadros parciais dotados com interruptor de corte geral.

## 2.4 - Dados Disponibilizados

### 2.4.1 - Apresentação Geral

O estudo da secção de Tratamentos Térmicos teve como base inicial os dados disponibilizados pela empresa que resultaram da auditoria energética a que a mesma foi sujeita. Como já referido, esta auditoria foi realizada durante três semanas sendo que, em cada uma das semanas, foram registados consumos elétricos de equipamentos específicos, entre eles fornos, quadros elétricos e máquinas de lavar.

A primeira semana de medições decorreu do dia 10 ao dia 17 de dezembro de 2012, nela tendo sido monitorizados os consumos de alguns fornos da Nave de Vácuo, bem como os QRevenido e QTêmpera.

A segunda semana de monitorização teve início no dia de 17 de dezembro de 2012 e ficou concluída no dia 26 do mesmo mês. À semelhança da primeira semana, também nesta foram monitorizados os consumos de fornos, mas desta feita, da Nave de Atmosfera Controlada. Foram ainda obtidas as leituras do quadro geral da secção de Tratamentos Térmicos, bem como de um dos fornos do sector de revenido (que não tinha sido possível obter na primeira semana).

Na terceira e última semana da auditoria energética, que teve lugar entre os dias 07 e 11 de janeiro de 2013, foram monitorizadas as duas máquinas de lavar da instalação e o forno em serviço na Nave de Contínuo.

Os registos assim produzidos abrangeram grandezas elétricas variadas, como por exemplo: tensão e corrente nas três fases, potências ativa e reativa (também discriminadas por fase) e por fim, o fator de potência. Dos dados da auditoria energética foi possível também retirar os gráficos de evolução da potência elétrica ativa consumida durante os ciclos de funcionamentos de alguns dos fornos.

De referir que nem todos os equipamentos presentes nas instalações da secção de Tratamentos Térmicos foram alvo de medições durante a realização da auditoria, alegadamente devido a limitações materiais.

Para além dos dados anteriores, a empresa disponibilizou também um conjunto de artigos relacionados com eficiência/gestão energética, bem como dados relativos às produções dos fornos, através dos quais foi possível inferir o tempo de ciclo de produção, a quantidade de aço tratado e as temperaturas utilizadas.

A que acrescem:

- O conjunto das faturas mensais de aquisição da energia elétrica consumida pela empresa, usadas no cálculo do custo médio da unidade de energia necessário ao estudo de custos de produção;
- Os consumos de energia elétrica dos diferentes quadros parciais da secção de Tratamentos Térmicos, bem como a produção total verificada na mesma, referentes ao ano de 2012;
- Os esquemas elétricos atualizados da secção de Tratamentos Térmicos, que se revelaram bastante importantes na compreensão da correta distribuição dos equipamentos pelas instalações possibilitando assim, uma análise muito mais fidedigna do que realmente acontece no interior das instalações e da distribuição dos correspondentes consumos energéticos.

De modo a conseguir aprofundar o presente estudo, requisitaram-se medições adicionais aos consumos efetuados por alguns equipamentos presentes nas instalações da secção de Tratamentos Térmicos, nomeadamente da torre de refrigeração, sistema de bombagem e forno Solo.

#### **2.4.2 - Descrição dos Ciclos de Tratamento**

Após uma breve apresentação (ver secção 2.2.2) dos tipos de fornos que constituem a secção de Tratamentos Térmicos da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. interessa agora caracterizar o funcionamento específico de alguns deles.

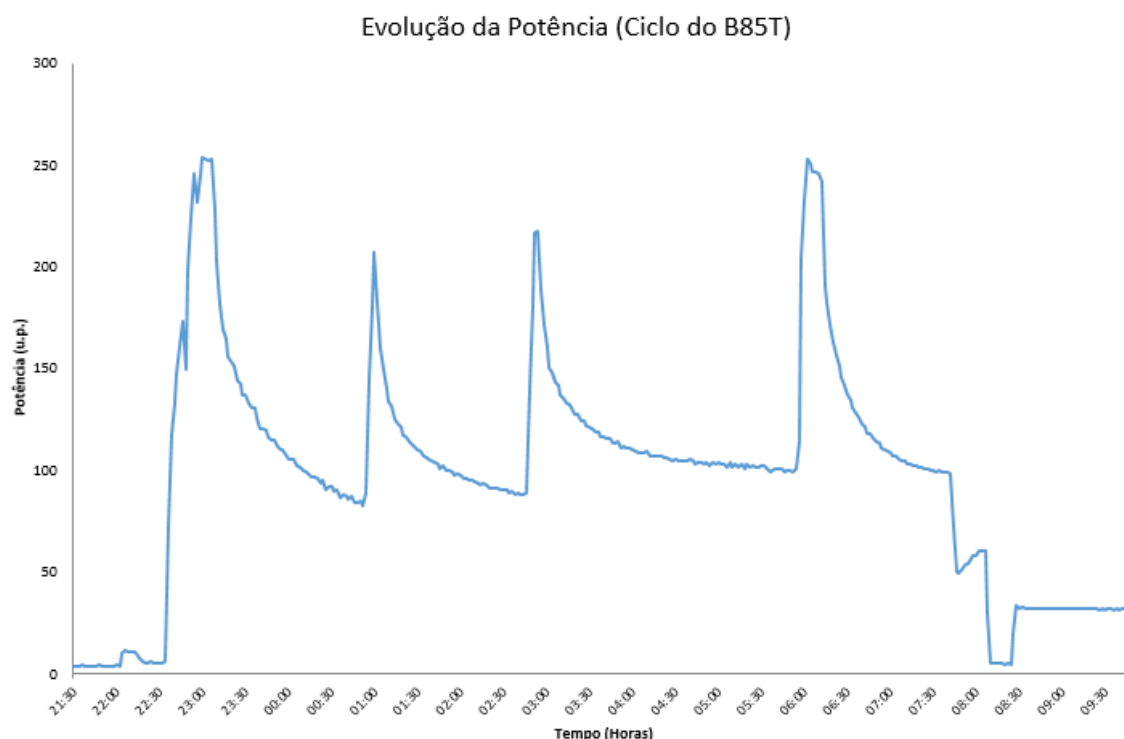
Assim, serão apresentados de seguida alguns ciclos característicos de fornos responsáveis por tratamentos de têmpera, revenido e de atmosfera controlada.

Algumas das análises apresentadas abordarão também a evolução da temperatura durante os ciclos, estabelecendo um paralelo entre a evolução da potência consumida e a evolução dessa mesma temperatura.

A duração dos ciclos característicos será também referida, sendo que o mesmo tratamento térmico dentro do mesmo forno possuirá maior ou menor duração de acordo com a massa de aço a tratar.

O gráfico 2.3 mostra o ciclo no forno de vácuo B85T, cujo processo de tratamento térmico (têmpera) começa pela criação do vácuo necessário no interior do mesmo. Tal pode ser verificado através do pequeno pico de consumo observável no início do gráfico 2.3 por volta

das 22h15. Como não poderia deixar de ser, logo de seguida (22h30) o forno apresenta um aumento súbito da potência consumida, que corresponde ao primeiro aumento da temperatura apresentado no gráfico 2.4.



**Gráfico 2.3** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B85T [2]

Para perceber a evolução do valor da potência consumida por este forno ao longo do seu ciclo de tratamento - que, no caso representado, durou cerca de 10,5 horas - é possível verificar no gráfico 2.4 a existência de 4 patamares de temperatura com períodos de duração variados (curva a vermelho). Isto acontece pois, após cada aquecimento produzido no interior do forno, o aquecimento das peças lá colocadas evidencia um natural atraso (curva a verde), sendo por isso necessário esperar que as peças atinjam a temperatura adequada.

Deste modo, após o pico inicial, há um declínio na potência consumida que diz respeito a um estágio que tem como função esperar que as peças se aproximem da temperatura estipulada. Após este declínio, existe outro pico de potência consumida provocado pela entrada em funcionamento da chamada bomba “roots”, de modo a elevar a temperatura do forno para atingir novo patamar. Os seguintes picos de consumo seguem o mesmo *modus operandi*.

Após o último pico de potência consumida, esta baixa pois começa a fase de arrefecimento que, no gráfico 2.4, pode ser observada pelo decaimento da curva a vermelho até ao fim do processo. Correspondentemente, no final do ciclo representado na gráfico 2.3 por volta das 07h30, é possível observar uma reta quase completamente vertical que corresponde à paragem da turbina de convecção, de modo a que as peças realizem mais um estágio de temperatura, seguido de um pequeno pico de consumo que corresponde a ligação da bomba “roots”, que se mantém agora ligada até ao fim do processo, para continuar a auxiliar o arrefecimento do forno e da sua carga.

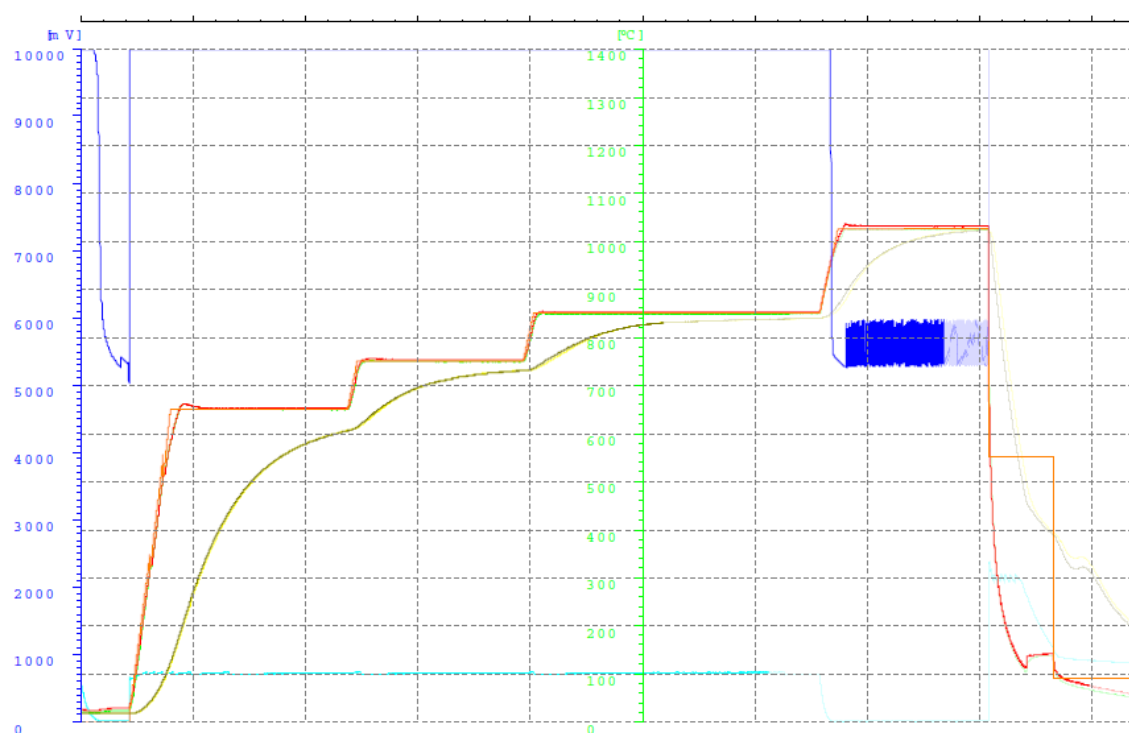


Gráfico 2.4 - Evolução da temperatura durante um ciclo do forno B85T [2]

Durante o seu ciclo de funcionamento, o comportamento do forno B74T, também ele de vácuo para têmpera, é em tudo semelhante ao do B85T, quer a nível da evolução de potência consumida, quer a nível da evolução da temperatura no seu interior - gráficos 2.5 e 2.6.

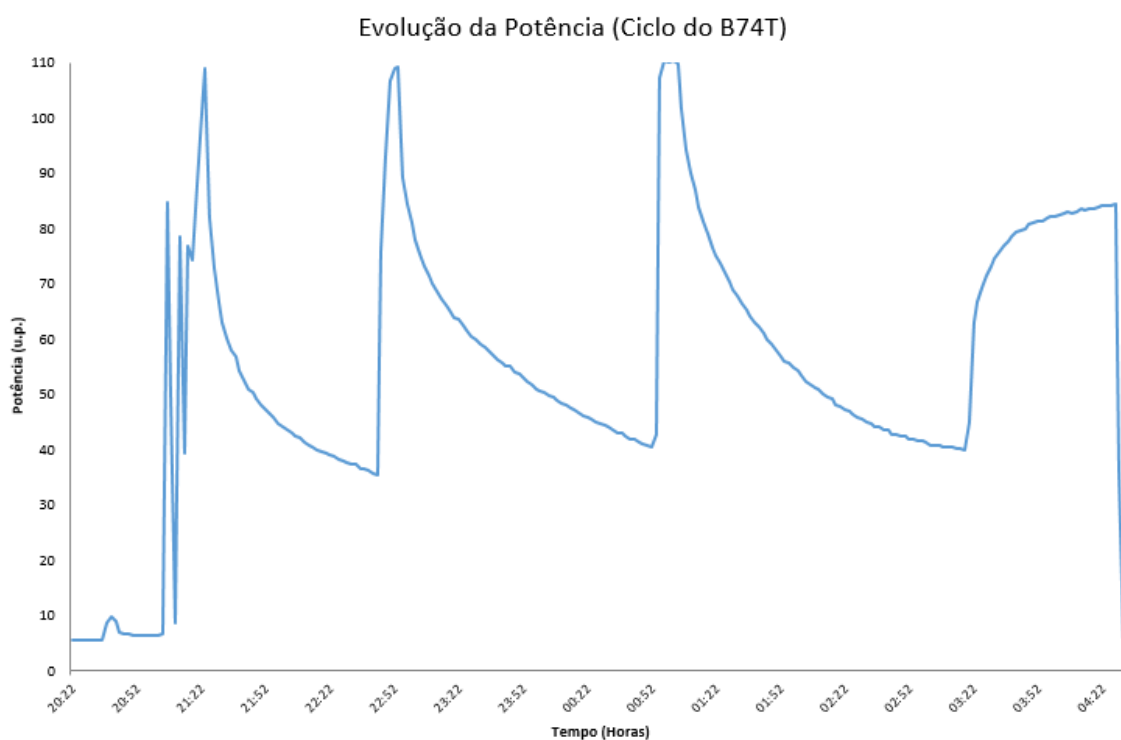


Gráfico 2.5 - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B74T [2]

No entanto:

- A duração do ciclo representado é agora muito menor (6 horas) - como referido anteriormente, a quantidade de massa tem influência na duração do ciclo e neste caso em particular, a massa de aço a tratar é menor;
- O número de estágios de temperatura é, também ele, menor (3) - O mesmo tipo de tratamento térmico, nesta circunstância a têmpera, possuirá um número diferente de estágios de acordo com o aço a tratar;
- Na parte final do ciclo, correspondente à evolução da potência consumida que está relacionada com a entrada em funcionamento da bomba “roots” para auxiliar o arrefecimento, o pico de consumo evolui de forma muito mais suave. Isto acontece por o motor da bomba “roots” estar equipado com um arrancador eletrónico (*soft starter*).

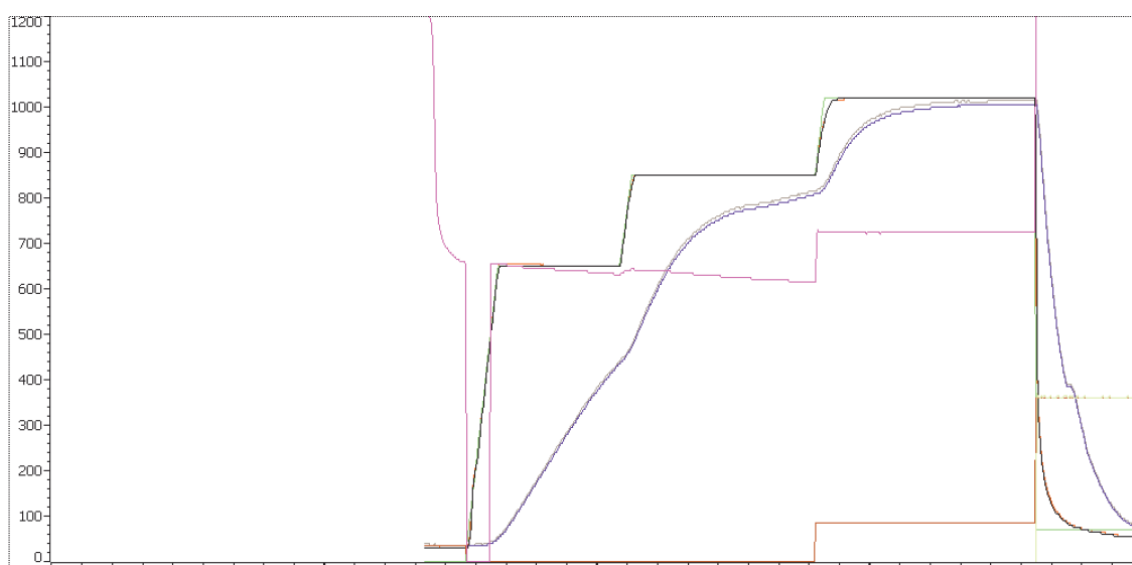


Gráfico 2.6 - Evolução da temperatura durante um ciclo no forno B74T [2]

Analizando agora um ciclo de trabalho do forno de vácuo para têmpera B56RN - ver gráfico 2.7 - é mais uma vez possível verificar um pico de consumo nos momentos iniciais do processo, correspondente à criação do vácuo no seu interior.

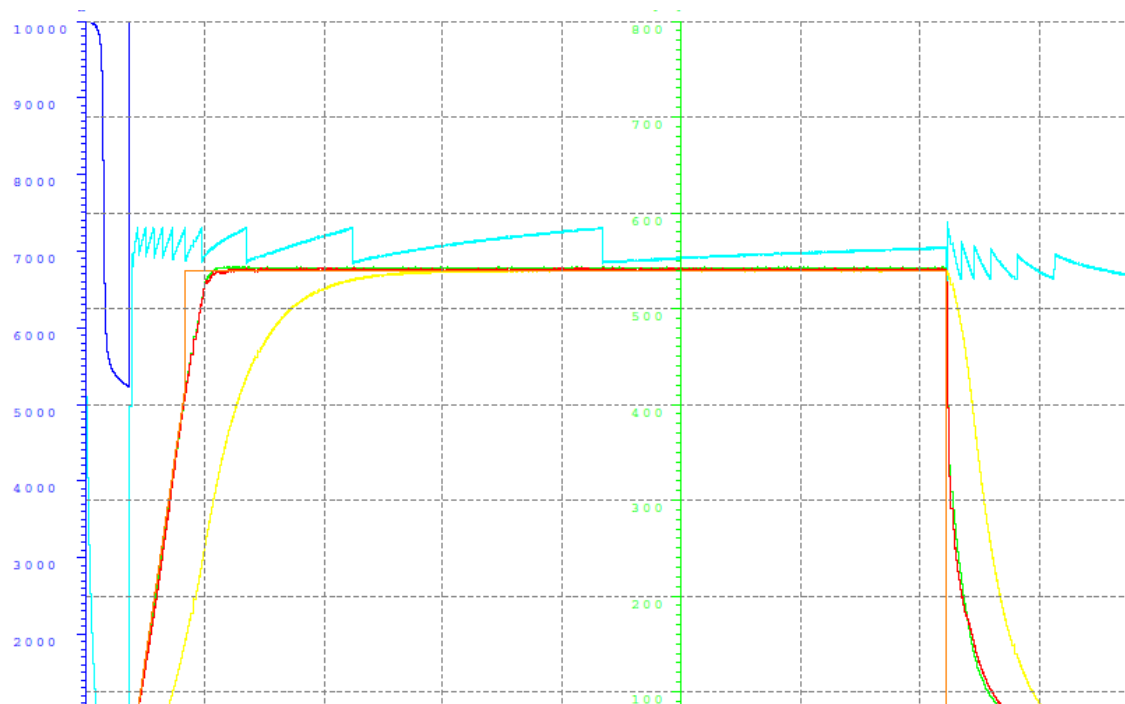
A que também se sucede um pico de potência correspondente à fase de aquecimento, mas que neste caso contém a particularidade de a rampa de aquecimento estar representada por duas retas de declives diferentes: a primeira está relacionada com um aquecimento brusco e rápido, enquanto na segunda o aquecimento já acontece de forma mais suave (lenta).

À fase de aquecimento segue-se uma fase de estágio, com declínio da potência consumida por parte do forno que, nos momentos finais do ciclo, é ainda acentuada pelo desligar da turbina de convecção.

Já mesmo no final do ciclo de trabalho representado - que durou cerca de 7 horas - há ainda um consumo “residual” que corresponde ao funcionamento da bomba “roots” destinado a retirar o gás do interior do forno.

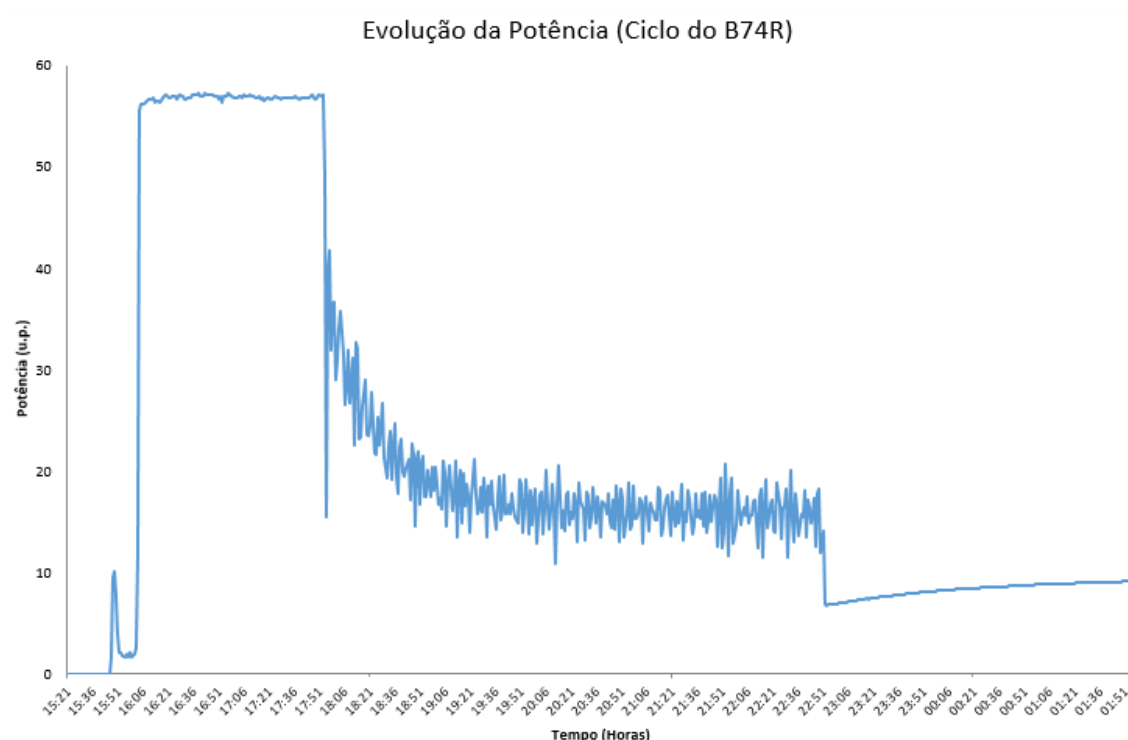
Quanto à evolução da temperatura no interior deste forno B56RN, ao contrário do que aconteceu com os fornos anteriores, ela não é feita através de patamares: de facto e como

pode ser observado no gráfico 2.8 o ciclo de temperatura deste forno corresponde apenas a elevar a temperatura até ao nível desejado, manter essa temperatura durante um dado período de tempo, seguido de um arrefecimento rápido (curva a vermelho). À semelhança de outros ciclos já apresentados, as peças colocadas no interior do forno, evidencia um natural atraso (curva a amarelo), sendo por isso a evolução da temperatura das mesmas um pouco diferente do ciclo de temperatura do forno.





Passando agora a analisar um ciclo de trabalho do forno de vácuo para revenido B74R, no gráfico 2.9 apresenta-se a evolução temporal da potência consumida pelo mesmo.



**Gráfico 2.9** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B74R [2]

Da sua observação desde logo e mais uma vez se nota um primeiro pico correspondente à entrada em funcionamento da bomba “roots” para a criação de vácuo. A que também se segue um período de aquecimento do forno, seguido de um período de estágio.

Após esta etapa, o sistema de aquecimento do forno é desligado, havendo um decréscimo notório da potência nele consumida. Os vários picos que se podem observar dizem respeito à ação da bomba “roots” na retirada dos gases em excesso que se formam durante o processo de tratamento térmico.

Por último, o tratamento térmico acaba e o vácuo é mantido pela bomba primária até ao fim do ciclo, que no caso representado durou cerca de 10 horas.

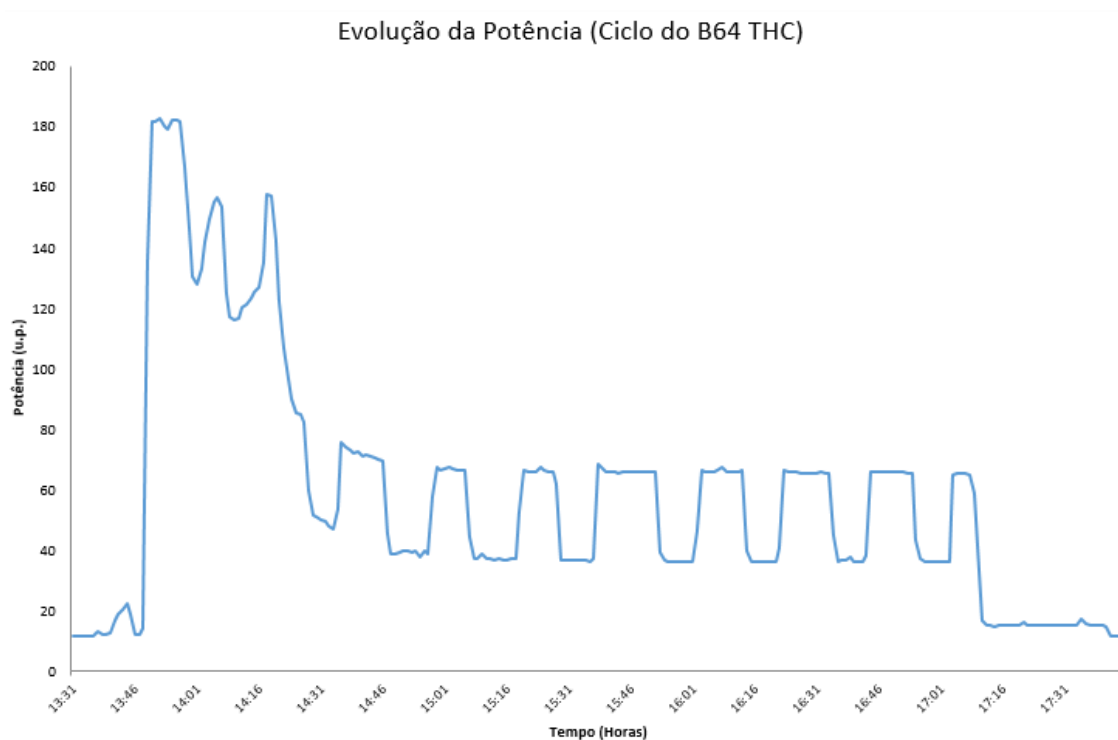
No gráfico 2.10 apresenta-se agora a evolução de potência consumida durante um ciclo de trabalho do forno de tratamento em atmosfera controlada B64THC. Este forno é um forno com uma construção particular pois, ao contrário dos anteriores, é constituído por duas câmaras.

O pico inicial da potência consumida diz respeito à equilibragem do vácuo nas duas câmaras, isto porque devido às manobras necessárias para colocar as peças no forno, este vai perder parcialmente as necessárias condições de vácuo, logo sendo necessário ligar a bomba “roots” para que seja novamente restabelecida a igualdade do nível de vácuo nas duas câmaras de modo a não prejudicar o processo de tratamento.

Após esta fase de equilibragem, segue-se o período normal de aquecimento do interior do forno, sendo este constituído por oscilações da potência consumida que são resultado da

entrada/saída de funcionamento da bomba “roots” com o objetivo de equilibrar os níveis de azoto no interior do forno.

O restante ciclo caracteriza-se pelo funcionamento da bomba “roots” de modo a manter a pressão parcial do vácuo no interior do forno. Este funcionamento é refletido no gráfico de evolução de potência e assemelha-se em muito a um funcionamento *on/off*.



**Gráfico 2.10** - Evolução da potência consumida durante o ciclo no forno B64THC [2]

As evoluções das temperaturas no interior do forno B64THC, representadas no gráfico 2.11, são bastante simples de compreender: há um aquecimento inicial, mantém-se a temperatura durante grande parte do ciclo, a que se segue um arrefecimento algo lento (curva a preto). É também possível observar a evolução da temperatura do óleo (curva a vermelho) bem como o *set point* de temperatura introduzido (curva a verde).

O gráfico 2.11 mostra ainda o desenvolvimento progressivo da equilibragem realizada entre as duas câmaras durante o ciclo do forno em questão (curva a amarelo e a rosa).

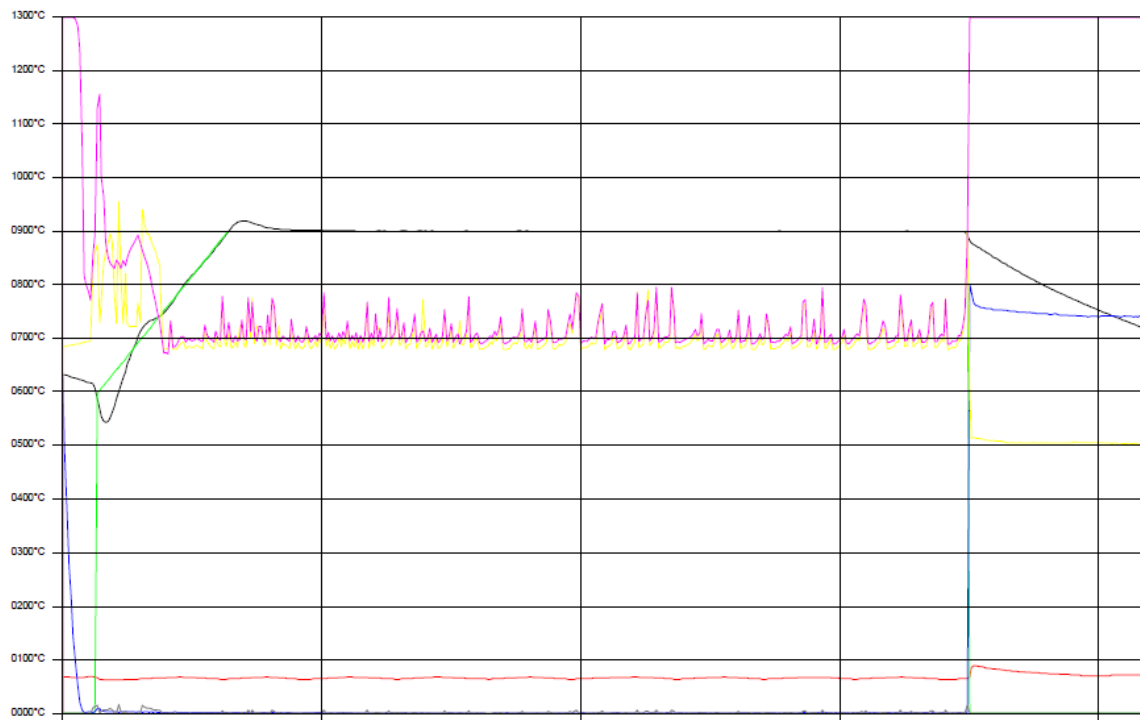


Gráfico 2.11 - Evolução da temperatura durante um ciclo no forno B64THC [2]

Já no forno KOS, também ele para tratamento em atmosfera controlada, o ciclo de funcionamento - ver gráfico 2.12 - começa por um aquecimento à potência máxima, de modo a atingir rapidamente a temperatura desejada, seguido de um estágio e, finalmente, por um período de arrefecimento como se pode ver na curva a rosa no gráfico 2.13.

Evolução da Potência (Ciclo do KOS)

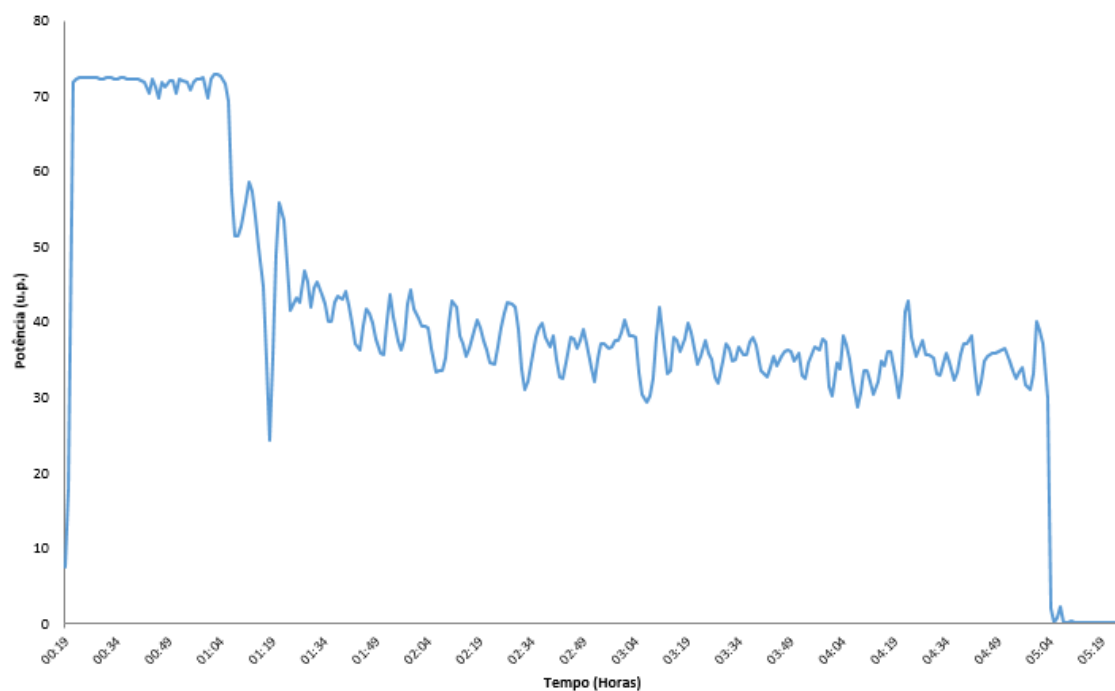


Gráfico 2.12 - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno KOS [2]

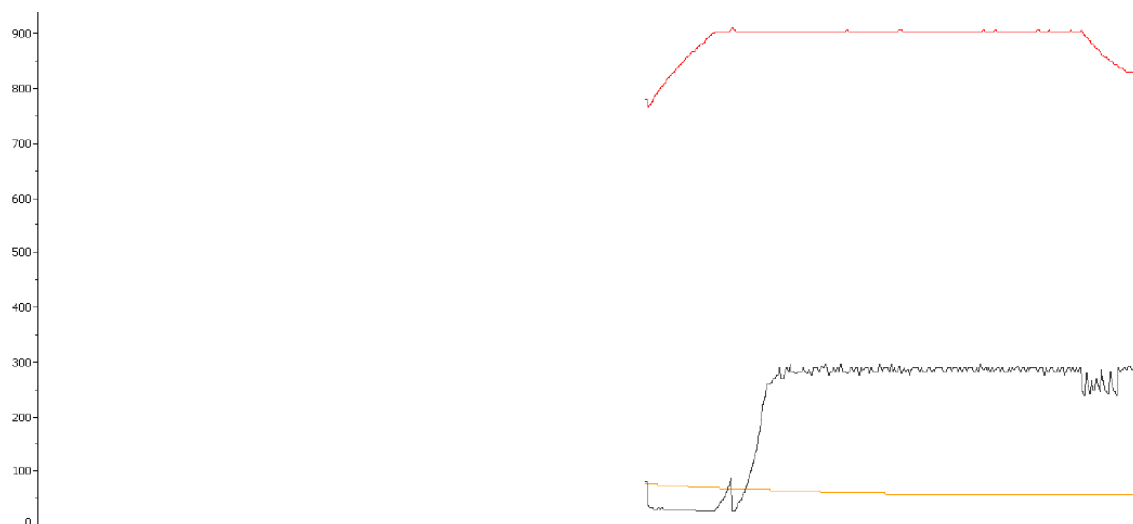


Gráfico 2.13 - Evolução da temperatura durante o ciclo no forno KOS [2]

Analisando em maior detalhe a evolução da potência consumida por este forno, verifica-se que, após aquele período inicial de aquecimento à potência máxima e ao contrário do inicialmente esperado pelos serviços técnicos da empresa, a potência requerida não se manteve num patamar constante, antes sofrendo variações significativas.

A justificação encontrada para este comportamento na evolução da potência consumida durante o ciclo de funcionamento do forno KOS, que no caso apresentado durou cerca de 5 horas, residirá no facto de se necessitar que a temperatura se mantenha entre patamares previamente estipulados logo, as variações encontradas dizem respeito ao comportamento *on/off* das resistências responsáveis pelo aquecimento, com o objetivo de manter a temperatura entre esses patamares.

O último ciclo de funcionamento analisado no presente estudo foi o do forno para tratamento em atmosfera controlada FCA. No gráfico 2.14 representa-se a evolução da potência consumida pelo mesmo, num ciclo que durou cerca de 1,5 horas.

Este ciclo é bastante simples de explicar em termos de potência consumida pelo forno, pois na parte inicial do ciclo há um período de aquecimento, seguido de um corte no sistema elétrico produtor de calor e terminando o processo de tratamento térmico com um estágio onde apenas existem oscilações de consumo correspondentes à entrada/saída de funcionamento da bomba “roots” de modo a manter a temperatura no interior do forno.

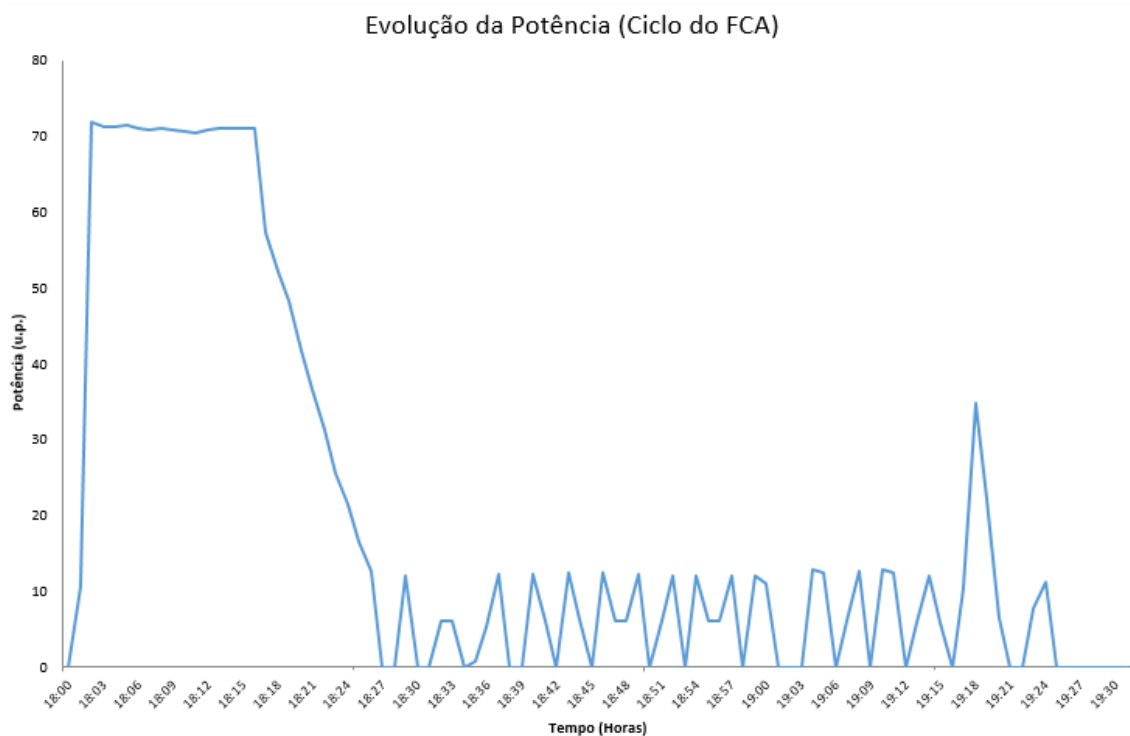


Gráfico 2.14 - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno FCA [2]

## 2.5 - Estratégia de Abordagem do Problema Proposto

Feita esta introdução caracterizadora do problema proposto, no seguimento do estudo reportado nesta dissertação optou-se por uma abordagem que fosse do geral para o particular.

Isto é, que partindo e trabalhando os dados disponíveis, conduzissem à sua desagregação por forma a:

- Em primeiro lugar, estabelecer os custos energéticos associáveis aos principais processos e/ou equipamentos existentes, com particular enfoque nos diversos fornos de tratamento;
- Em segundo lugar e tanto quanto possível, apurar os indicadores de consumos específicos desses mesmos fornos e, com isso, estabelecer um possível cenário comparativo;
- Em terceiro e último lugar, estudar e/ou elaborar um conjunto de medidas de gestão energética, exequíveis e potenciadoras da redução do consumo de energia elétrica verificado na secção de Tratamentos Térmicos.

É o que se explana nos capítulos seguintes, acrescido das principais conclusões a que se chegou e, até, da sugestão para futuros trabalhos complementares.



## Capítulo 3

### Desagregação dos Consumos

Neste capítulo, pretende-se dar a conhecer a distribuição dos consumos na secção de Tratamentos Térmicos. Para tal, são utilizados dados fornecidos pela empresa onde também estão incluídos dados resultantes da auditoria energética realizada.

Os dados apresentados serão alvo de uma análise mais profunda de modo a ser possível identificar onde estão localizados os principais pontos de consumo da secção de Tratamentos Térmicos.

#### 3.1 - Os Consumos Elétricos em 2012

A análise que será apresentada não só teve como base as faturas de aquisição de energia elétrica por parte da empresa em 2012, como também os valores de consumo apurados na auditoria energética que, como referido anteriormente, foi realizada no final do ano de 2012 à sua secção de Tratamentos Térmicos.

De forma a conseguir enquadrar os resultados da auditoria energética com os consumos totais do ano de 2012, nesta análise recorreu-se ainda a um conjunto de dados respeitantes a contadores internos de energia elétrica disponibilizados pela empresa.

Assim sendo, são apresentados de seguida esses mesmos dados devidamente comentados.

- Em 2012, a empresa consumiu globalmente perto de 8 GWh de energia elétrica ativa (montante este que ultrapassa claramente os 1.000 tep/ano, patamar importante no âmbito do atual SGCIE - Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia);
- No mesmo período e como se verá em seguida, a secção de Tratamentos Térmicos foi responsável por mais de 60% da energia elétrica ativa consumida nas instalações da empresa;
- Indicador este que não só mostra o peso consumidor significativo da secção da Tratamentos Térmicos da empresa, como também enfatiza a importância e necessidade da realização do estudo subjacente à presente dissertação, em devido tempo proposto pela F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

Fazendo agora uma análise da evolução mensal do consumo “elétrico” verificado na secção de Tratamentos Térmicos da empresa ao longo do ano de 2012, cujos dados se apresentam no gráfico 3.1 e na tabela 3.1 (sempre expressos em u.e.), e comparando-a com a da empresa (que se omite, por sigilo industrial), parece poder concluir-se que:

- Em apenas três meses do ano de 2012 é que o peso dos consumos na secção de Tratamentos Térmicos da empresa ficou abaixo de 60% do correspondente consumo global;
- A que acresce o facto de os consumos elétricos mensais da secção de Tratamentos Térmicos serem pouco variáveis ao longo do ano civil, particularmente se desta análise forem excluídos os meses de agosto e de dezembro, meses estes em que se verifica uma natural redução da produção, relacionada com o período de férias de verão, no primeiro caso, e com as festividades de natal e de ano novo, no segundo;

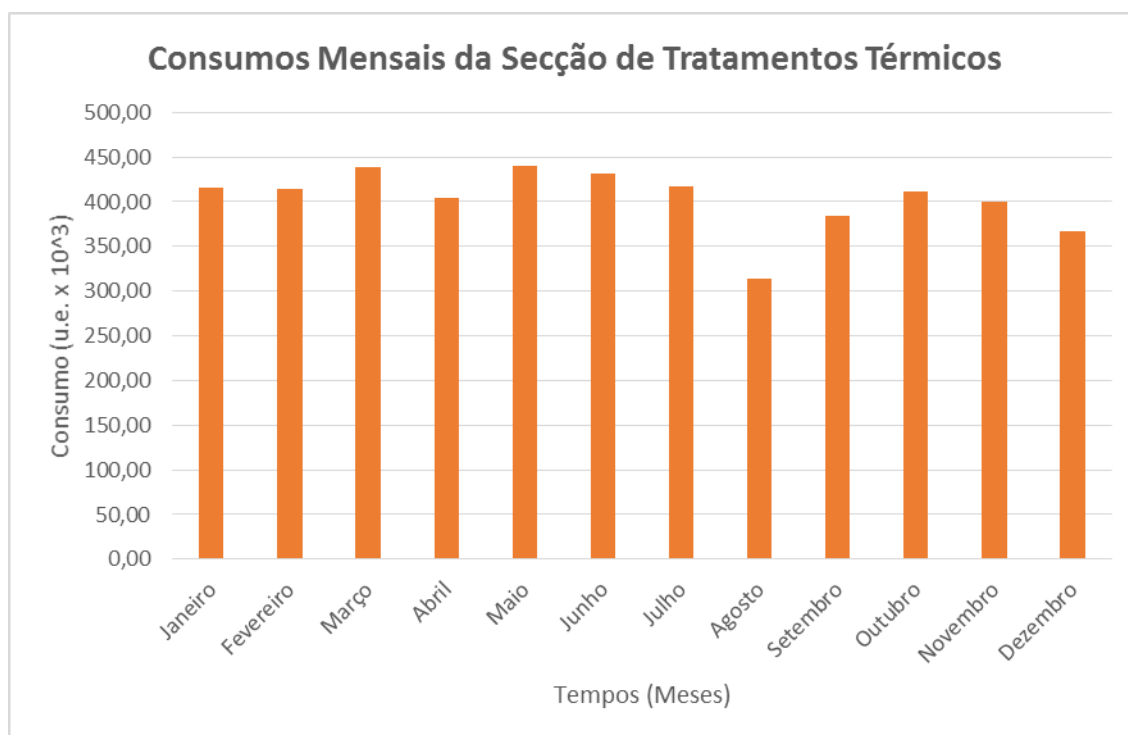


Gráfico 3.1 - Consumos mensais da secção de Tratamentos Térmicos [2]

- O que permite concluir que, apesar dos processos térmicos envolvidos, o correspondente consumo elétrico necessário é pouco sensível às variações climáticas envolventes.



Tabela 3.1 - Consumo de energia eléctrica da secção de Tratamentos Térmicos, no ano de 2012

Secção de Tratamentos Térmicos	
Meses	Consumos (u.e. x 10 <sup>3</sup> )
janeiro	416,2
fevereiro	414,3
março	439,4
abril	403,7
maio	440,0
junho	431,5
julho	416,8
agosto	314,1
setembro	384,0
outubro	411,2
novembro	400,5
dezembro	367,0

Em seguida são estudados em maior pormenor os consumos referentes à secção de Tratamentos Térmicos da empresa, com vista à melhoria das condições de utilização de energia eléctrica nela verificada.

Recorrendo aos dados disponíveis e agregando-os por nave constituinte e por ano, foi possível apurar a seguinte desagregação primária do consumo de energia eléctrica ativa verificado na secção de Tratamentos Térmicos da empresa:

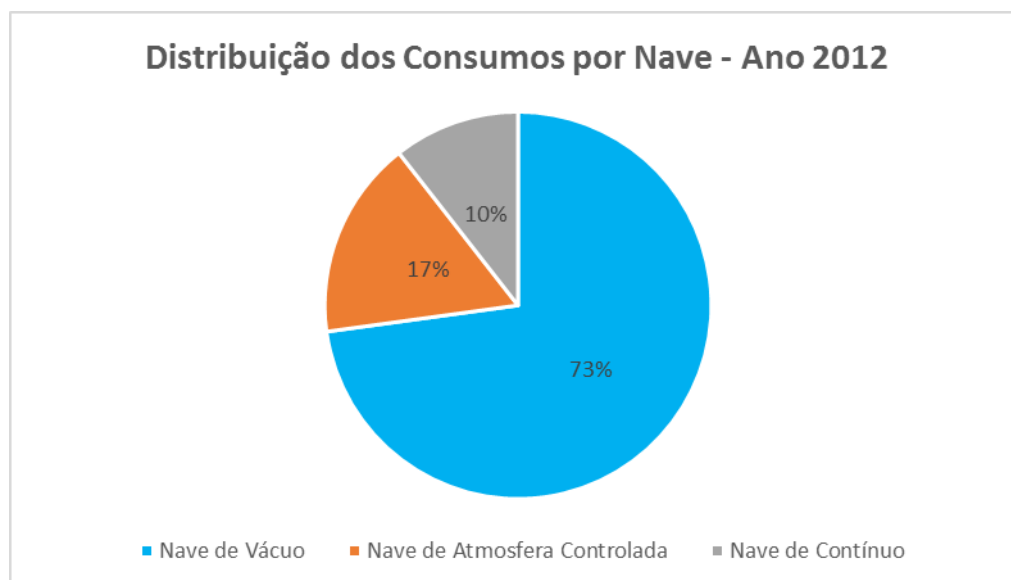


Gráfico 3.2 - Distribuição dos consumos por nave referentes ao ano de 2012 [2]

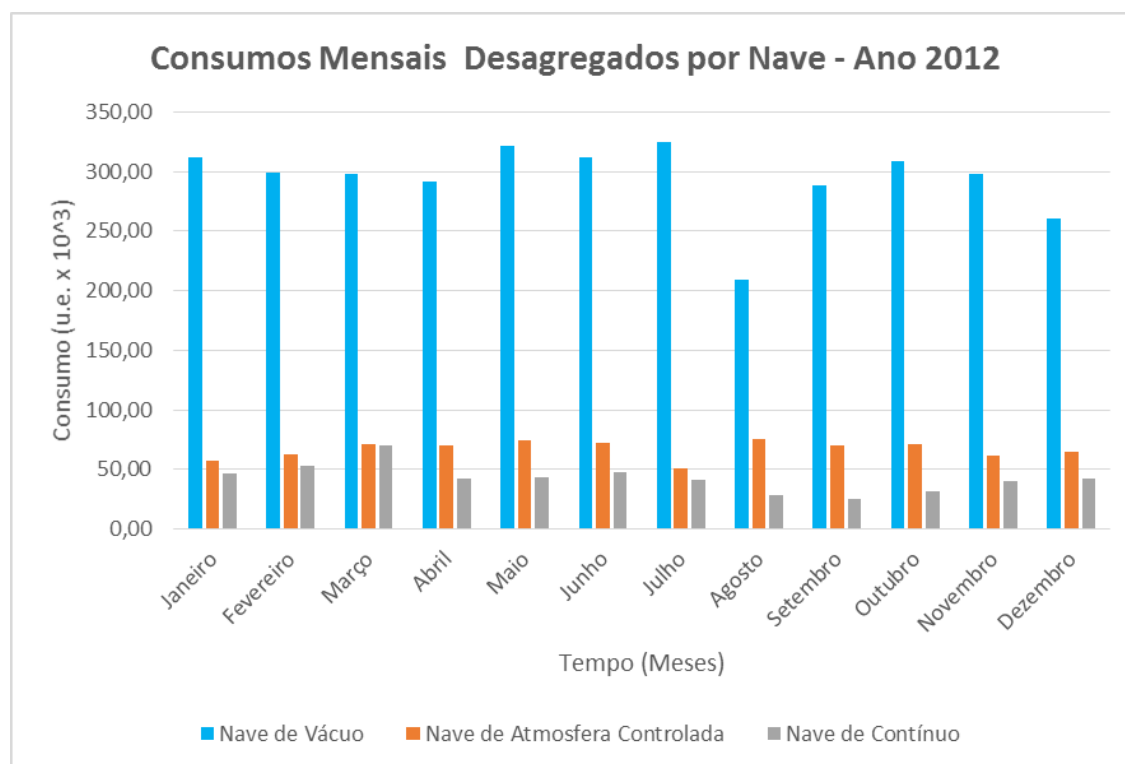
Analisando o gráfico 3.2 é possível verificar que, de forma expectável devido ao número de fornos que a constituem e, também, à quantidade de trabalho atribuída a cada um desses mesmos fornos, é a Nave de Vácuo a responsável pela grande fatia do consumo de energia eléctrica ativa verificada na secção de Tratamentos Térmicos ao longo de 2012.

A que se seguem, e por esta ordem, a Nave referente às máquinas de Atmosfera Controlada e a Nave de Contínuo.

Passando agora a uma análise da evolução mensal desagregada por nave de tais consumos, cujos dados se apresentam no gráfico 3.3 e na tabela 3.2, logo é possível concluir que as mesmas apresentam diferenças.

Assim:

- No que à Nave de Vácuo diz respeito, o consumo mensal de energia elétrica ativa rondará os  $295 \times 10^3$  u.e./mês, com baixas relativamente pronunciadas nos meses de agosto ( $210 \times 10^3$  u.e.) e de dezembro ( $260 \times 10^3$  u.e.), pelos motivos já apontados;
- Já a Nave de Atmosfera Controlada evidencia um consumo mensal de energia elétrica ativa bem menor, a rondar os  $67 \times 10^3$  u.e./mês, com um mínimo em julho (cerca de  $50 \times 10^3$  u.e.) e um pico em agosto (cerca de  $76 \times 10^3$  u.e.);



**Gráfico 3.3** - Consumos mensais desagregados por nave e referentes ao ano de 2012 [2]

**Tabela 3.2** - Consumos mensais durante o ano de 2012 nas diferentes naves da secção de Tratamentos Térmicos [2]

Secção de Tratamentos Térmicos			
Consumos (u.e. x 10 <sup>3</sup> )			
	Nave de Vácuo	Nave de Atmosfera Controlada	Nave de Contínuo
janeiro	312,08	57,45	46,65
fevereiro	299,38	62,16	52,76
março	297,70	71,60	70,09
abril	291,03	70,05	42,62
maio	321,90	74,90	43,17
junho	311,56	72,60	47,28
julho	325,10	50,31	41,34
agosto	209,55	75,78	28,73
setembro	287,94	70,43	25,66
outubro	308,74	71,30	31,18
novembro	298,41	61,91	40,19
dezembro	260,61	64,51	41,88

- Quanto à Nave de Contínuo, que é a que se apresenta como a que menos energia eléctrica ativa consome em toda a secção de Tratamentos Térmicos - cerca de 43 x 10<sup>3</sup> u.e./mês -, evidencia as maiores variações mensais nesses mesmos consumos: 26 x 10<sup>3</sup> u.e. em setembro e 70 x 10<sup>3</sup> u.e. em março. A este propósito refira-se que as variações do consumo energético nesta nave são fortemente influenciadas pelo regime de trabalho do único forno nela ativo, que alterna períodos de laboração útil com períodos de funcionamento em *stand by* (é necessário que o forno esteja pronto para iniciar os trabalhos em qualquer altura, fazendo com que seja necessário manter o forno a uma dada temperatura).
- O aumento ou diminuição do consumo desta nave da secção de Tratamentos Térmicos vai apenas depender da existência de trabalho no forno pois, caso contrário, o forno vai encontrar-se em *stand by* fazendo com que os consumos sejam semelhantes em vários meses do ano.

É o que se pretende mostrar nas tabelas seguintes onde se compilaram, nave a nave, o valor máximo, o valor mínimo e o respetivo desvio no consumo “eléctrico” mensal, com e sem inclusão dos meses de agosto e de dezembro:

**Tabela 3.3** - Desvios percentuais relativos a maior e menor consumo mensal considerando os meses de agosto e dezembro de 2012

Secção de Tratamentos Térmicos				
Consumos (u.e. x 10 <sup>3</sup> )				
	Máximo	Mínimo	Desvio	% Desvio
Nave de Vácuo	325,10	209,55	115,55	35,54
Nave de Atmosfera Controlada	75,78	50,31	25,48	33,62
Nave de Contínuo	70,09	25,66	44,43	63,39

**Tabela 3.4** - Desvios percentuais relativos a maior e menor consumo sem considerar os meses de agosto e dezembro de 2012

Secção de Tratamentos Térmicos				
Consumos (u.e. x 10 <sup>3</sup> )				
	Máximo	Mínimo	Desvio	% Desvio
Nave de Vácuo	325,10	287,94	37,16	11,43
Nave de Atmosfera Controlada	74,90	50,31	24,60	32,84
Nave de Contínuo	70,09	25,66	44,43	63,39

Através da análise das tabelas acima é possível perceber que a inclusão ou não dos meses de agosto e dezembro, não afeta em quase nada os valores dos consumos apurados nas naves de Atmosfera Controlada e de Contínuo.

A Nave de Vácuo é aquela que apresenta uma maior diferença caso sejam retirados desta análise os meses de agosto e dezembro: o desvio entre os valores máximo e mínimo de consumos, após a retirada dos meses referidos, passa dos 35,5% para 11,4%, o que é bastante significativo e afeta, de forma acentuada, o consumo energético da secção de Tratamentos Térmicos da empresa. Mas também evidencia um consumo mensal mais uniforme nesta nave fora dos meses de agosto e de dezembro.

## 3.2 - Auditoria Energética

No seguimento da abordagem efetuada na secção 3.1, serão analisados agora os dados obtidos aquando da auditoria energética que decorreu durante o fim do ano de 2012/inícios do ano de 2013. De salientar que a auditoria foi realizada em três fases distintas, a saber:

- 1ª fase: 10 a 17 de dezembro de 2012
- 2ª fase: 17 a 26 de dezembro de 2012
- 3ª fase: 07 a 11 de janeiro de 2013

Nas diferentes fases e devido às restrições existentes com a quantidade do material de medição disponível, em cada uma das fases foram alvo de medição diferentes partes da secção de Tratamentos Térmicos.

Na primeira fase foram efetuadas medições a partir dos quadros elétricos que dizem respeito aos sectores de têmpera e de revenido bem como os fornos B85T, B74T e B56RN. Na segunda fase foram alvo de medição os fornos B74R, B64THC, FCA e KOS, sendo que os três

últimos estão localizados na Nave de Atmosfera Controlada. Nesta semana, o quadro geral da secção de Tratamentos Térmicos foi também alvo de medição. Por fim, na última fase da auditoria energética procedeu-se à obtenção dos dados referentes às máquinas de lavar e à Nave de Contínuo.



**Figura 3.1** - Exemplo de alguns fornos utilizados pela F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.

De salientar que, nas diversas divisões há equipamentos cujos comportamentos se assemelham em termos de funcionamento e consumo:

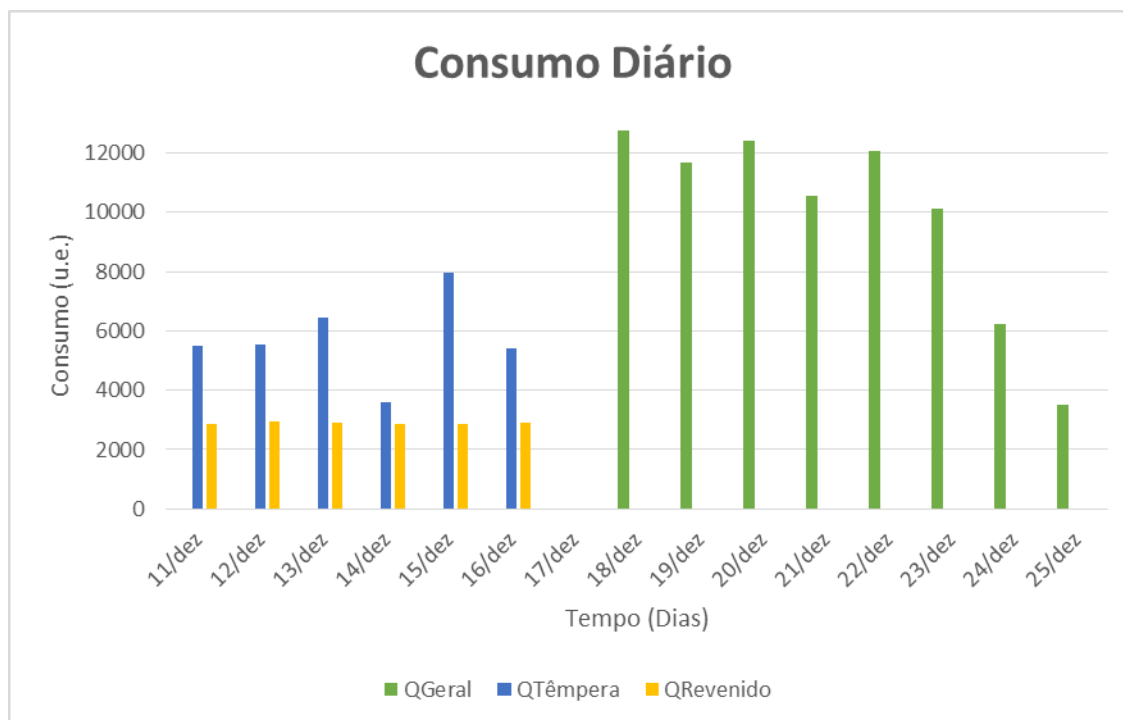
- Na Nave de Vácuo, no que à temperatura diz respeito, os equipamentos B84T-1, B84T-2 e B74T são semelhantes entre si. Os equipamentos B56RN e B85T possuem um funcionamento distinto dos restantes;
- Ainda na Nave de Vácuo, mas agora analisando o revenido, os equipamentos B54RN, B54R, B54RI e 74R têm um funcionamento idêntico. O equipamento B55RN apesar de semelhante aos anteriores, possui maior capacidade tendo sido por isso tratado de forma diferente;
- Os equipamentos pertencentes à Nave de Atmosfera Controlada (FCA, KOS e B641THC) possuem todas características únicas, sendo por isso necessário estudar cada um de forma separada.

### 3.2.1 - Consumos no Quadro Geral e Quadros Parciais

A primeira abordagem aos consumos resultantes das medições efetuadas durante a auditoria energética será efetuada ao nível do quadro geral da secção de Tratamentos Térmicos (QGTT), bem como dos quadros parciais que a este estão ligados, de modo a desmontar os consumos e, assim, conseguir perceber de modo mais evidente quais os pontos de maior consumo.

No gráfico 3.4 estão expostos, de uma forma bastante simples e individualizada, as medições efetuadas no quadro geral QGTT bem como nos quadros referentes aos sectores de temperatura (QTêpera) e de revenido (QRevenido).

O gráfico mostra já umas das principais dificuldades encontradas no estudo dos consumos da secção de Tratamentos Térmicos: a obtenção dos dados foi efetuada em períodos temporais distintos, exigindo assim suposições aproximadas que, não sendo exatas, reflitam a realidade.



**Gráfico 3.4** - Consumo diário nos quadros geral, do sector de têmpera e do sector de revenido [2]

Para o efeito é de salientar que foram retirados da análise os dias 10 e 17 de dezembro (no caso do QTêmpera e do QRevenido) e os dias 17 e 26 de dezembro (no caso do QGTT) respeitantes à primeira e segunda fases das medições da auditoria, respetivamente. Tal decisão foi tomada de modo a tornar as conclusões mais representativas, pois as medições suprimidas não abrangiam um período de 24h como os restantes dias.

É de referir que foi feita também uma tentativa de “encaixar” os consumos de duas segundas feiras, dias 17 e 24 de dezembro, de modo a conseguir obter o consumo verificado nesse tipo de dia da semana, mas tal não foi possível pois um desses dias coincidia com a véspera de natal e, nele, há um nítido abrandamento da atividade da secção.

O dia 25 de dezembro foi também ignorado pois, tratando-se do dia de natal, a secção de Tratamentos Térmicos apenas mantém os níveis mínimos de consumo necessários à retoma de atividade após essa data.

Nos gráficos que serão apresentados em seguida (3.5, 3.6. e 3.7) é importante referir os dias da semana a que correspondem os dias indicados nos gráficos. Assim, na tabela 3.5 apresenta-se essa mesma correspondência.

Tabela 3.5 - Correspondência dos dias da semana aos dias indicados nos gráficos subsequentes

Secção de Tratamentos Térmicos		
Correspondência		
Dia 1	→	terça-feira
Dia 2		quarta-feira
Dia 3		quinta-feira
Dia 4		sexta-feira
Dia 5		sábado
Dia 6		domingo
Dia 7		segunda-feira

Observando agora o gráfico 3.5, representativo dos consumos energéticos diários associados aos QGTT, QTêmpera e QRevenido, é possível perceber que a evolução dos consumos no primeiro é semelhante, em aspeto, à variação dos consumos imputados ao QTêmpera, pois o sector de revenido mantém o seu consumo praticamente constante, a rondar os  $3 \times 10^3$  u.e./dia. Apesar de espaços temporais diferentes, a sobreposição pode ser feita pois há um comportamento semelhante por parte do sector de revenido ao longo de todo o período de medição.

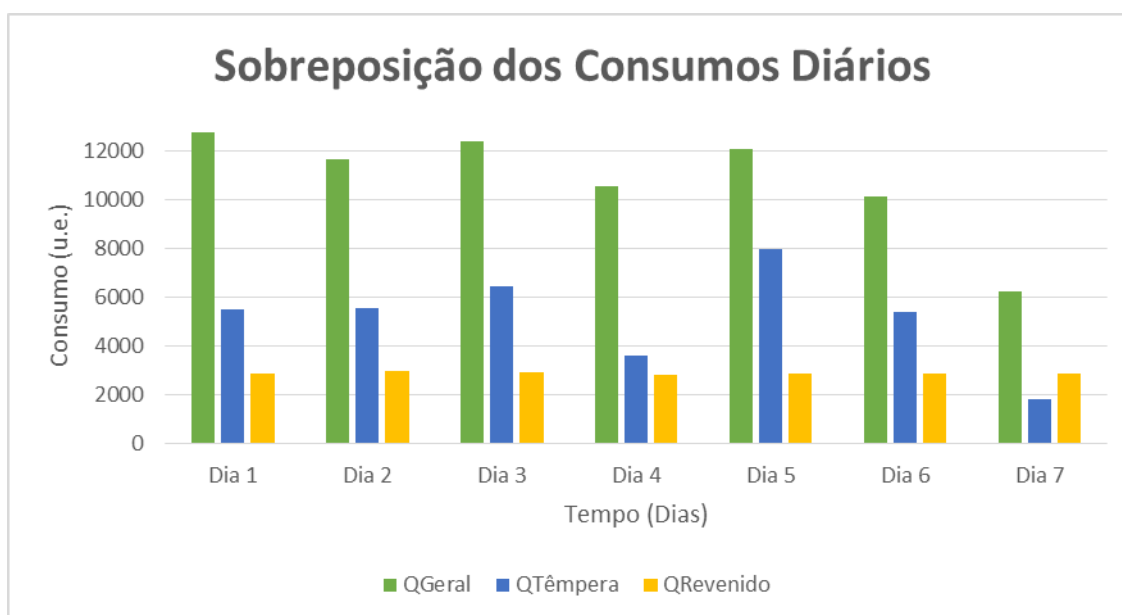
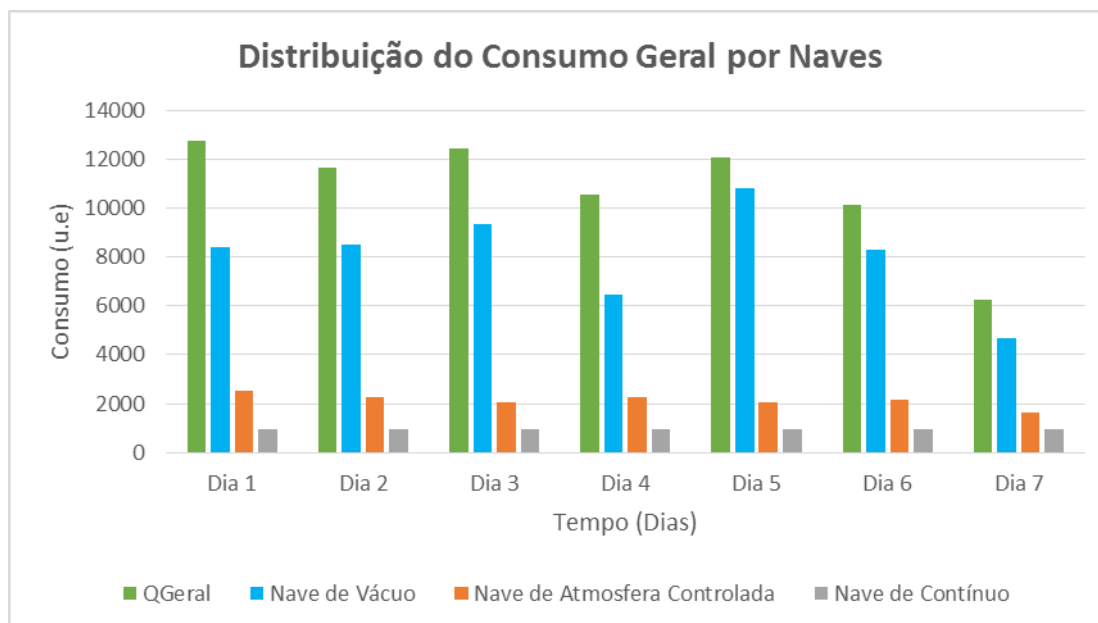


Gráfico 3.5 - Sobreposição dos consumos diários nos quadros geral, do sector de têmpera e do sector de revenido

Apesar de a Nave de Vácuo, em especial no que respeita ao sector de têmpera, ser a responsável por grande parte do consumo da secção de Tratamentos Térmicos da empresa, é necessário ter em conta as outras divisões da mesma. Assim sendo, o gráfico 3.6 mostra os consumos diários de uma forma mais detalhada, com a inclusão das outras divisões, nomeadamente a Nave de Atmosfera Controlada e a Nave de Contínuo.

A este propósito é de referir ainda que o “Dia 7” será eliminado de análise a partir deste momento pois, do lado do QGTT, é referente ao dia 24 de dezembro e, do lado dos sectores da têmpera e do revenido, diz respeito ao dia 17 de dezembro. O que já foi justificado anteriormente (singularidade do dia de véspera de natal).



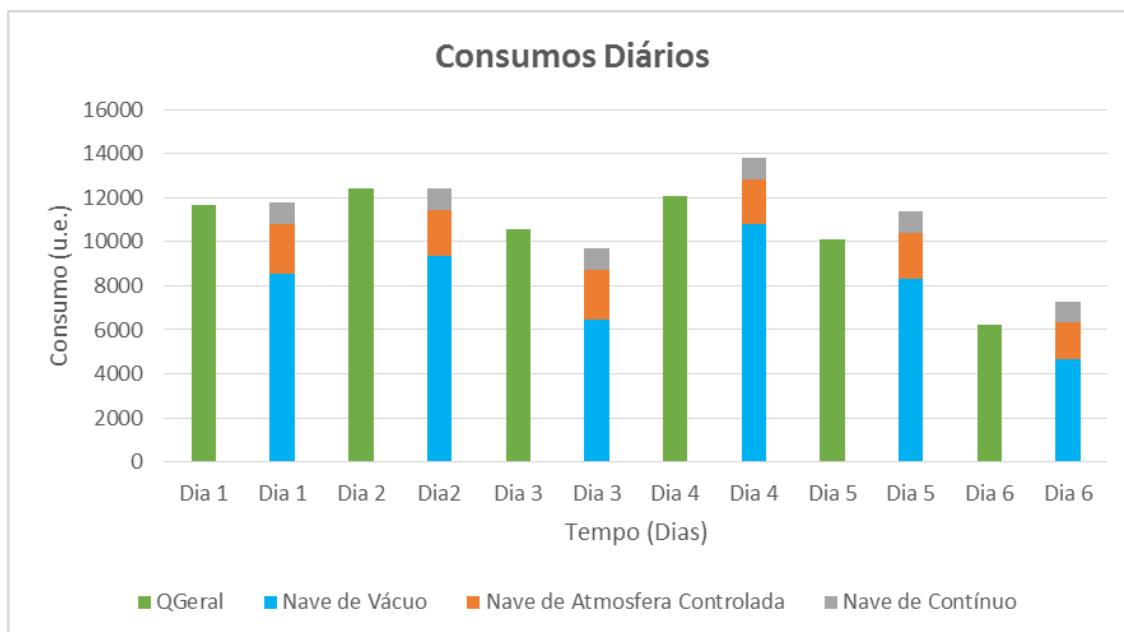
**Gráfico 3.6** - Distribuição detalhada do consumo geral por naves

Desta vez, de uma forma mais detalhada, é possível comprovar aquilo que já foi anteriormente referido na secção 3.1: a principal responsável pelos consumos “elétricos” verificados na secção de Tratamentos Térmicos da empresa é a Nave de Vácuo, seguida pela Nave de Atmosfera Controlada e, em último, pela Nave de Contínuo.

Este resultado merece algumas considerações, já que de acordo com as plantas da instalação disponibilizadas pela empresa:

- Na Nave de Vácuo, para além dos respetivos fornos, existem outros equipamentos: no QTêmpera está ligada a “máquina de lavar vácuo” e no QRevenido está ligada a torre de refrigeração e o sistema de bombagem;
- Na Nave de Atmosfera Controlada, para além dos respetivos fornos, existe também a “máquina de lavar atmosfera controlada”;
- Na Nave de Contínuo existem inúmeros equipamentos, mas apenas o forno Solo está ativo e a consumir energia;
- Não são tidos em conta os consumos respeitantes a iluminação, aparelhos de escritório e restante aparelhagem, visto que o seu consumo é residual (quer em termos de potência unitária, quer em termos de frequência de utilização).





**Gráfico 3.7** - Distribuição detalhada do consumo geral por naves - comparação direta

O gráfico 3.7 permite perceber que, embora a sobreposição possa ser apenas uma estimativa não isenta de erros, a comparação dos consumos do QGTT com a soma dos consumos das 3 naves (de Vácuo, de Atmosfera Controlada e de Contínuo) mostra-se consistente.

O que pode também ser confirmado pelos valores retratados na tabela 3.6, que mostra que tais comparações diárias não chegam a atingir desvios de 15% nos piores casos (Dias 5 e 6), ou de 10% (Dias 1 e 4), ou até de 1% (dois Dias restantes).

**Tabela 3.6** - Somas relativas aos consumos gerais e aos consumos individuais das naves e respetivo desvio

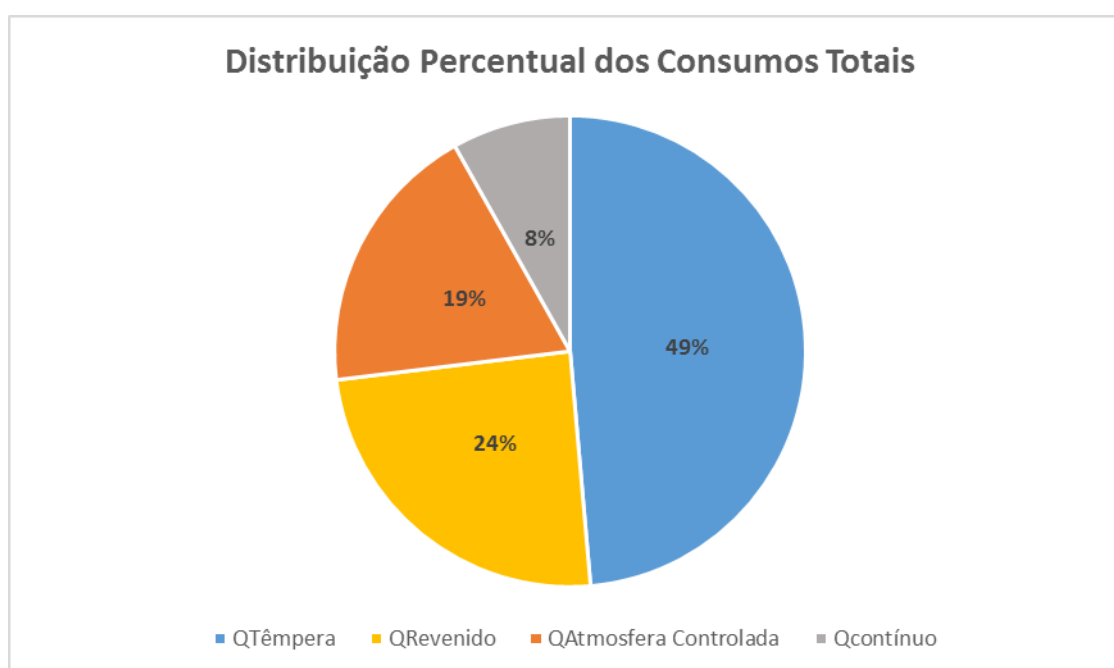
Secção de Tratamentos Térmicos				
Consumos (u.e.)				
Dia	Geral	Somas	Diferença	% Desvio
1	12.754,64	11.864,32	890,3252	7
2	11.679,61	11.775,33	95,72125	0.8
3	12.416,32	12.406,8	9,517121	0.1
4	10.569,1	9.705,392	863,7089	8.2
5	12.071,39	13.813,05	1.741,662	14.4
6	10.132,55	11.386,02	1.253,469	12.4

Assim sendo, o ponto de partida para o estudo efetuado parece ter validade e pode ser considerado como representativo do funcionamento da secção de Tratamentos Térmicos. Isto sem prejuízo de a impossibilidade desta verificação para o Dia 7 aconselhar alguma prudência em termos de análise futura.

De modo a ser possível ter uma visão global da distribuição dos consumos “elétricos” nas instalações e na sequência da sobreposição de consumos apresentada nos gráficos 3.5 e 3.6, construiu-se a repartição setorial apresentada na tabela 3.7 e no gráfico 3.8:

**Tabela 3.7** - Consumos “elétricos” totais na secção de Tratamentos Térmicos

Secção de Tratamentos Térmicos		
Quadro Elétrico	Consumos Totais (u.e.)	Percentagem do Total (%)
QTêmpera	34.493	49
QRevenido	17.344	24
QAtmosfera Controlada	13.336	19
QContínuo	6.741	8



**Gráfico 3.8** - Distribuição percentual dos consumos “elétricos” por quadro elétrico parcial

Mais uma vez se verifica um maior consumo por parte da Nave do Vácuo (QTêmpera + QRevenido) que, somados, dão 73% do consumo total; 19% do consumo dizem respeito à Nave da Atmosfera Controlada e 8% à Nave de Contínuo.

Os valores obtidos durante a auditoria energética são em tudo semelhantes à distribuição conseguida na secção 3.1 com os dados fornecidos pela empresa.

### 3.3 - Quadros Parciais da Nave de Vácuo

Como já mostrado na figura 2.4 do capítulo 2, a Nave de Vácuo é constituída por dois quadros elétricos parciais principais: o quadro parcial do sector de têmpera (QTêmpera) e o quadro parcial do sector de revenido (QRevenido).

Na apresentação dos dados relativos aos consumos energéticos associados aos quadros parciais principais da Nave de Vácuo, e em particular no respeitante ao QTêmpera, serão menosprezados os consumos referentes às suas saídas para alimentação do quadro parcial dos escritórios da secção e para iluminação/tomadas de usos gerais, pois os seus consumos, quando comparados com os consumos verificados nos fornos de têmpera, são reduzidos.

#### 3.3.1 - Quadro Parcial do Sector de Têmpera

Na tabela 3.8 são apresentados os consumos “elétricos” registados no quadro parcial do sector de têmpera (QTêmpera) no período compreendido entre os dias 11 e 16 de dezembro de 2012.

Tabela 3.8 - Consumos no QTêmpera [2]

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Têmpera	
Dia de Medição	Consumo (u.e.)
11/12	5.516,82
12/12	5.561,05
13/12	6.439,68
14/12	3.616,87
15/12	7.963,88
16/12	5.394,42

Na tabela 3.9 são apresentados os consumos “elétricos” dos fornos e a máquina de lavar “Vácuo”, registados no mesmo período, sendo de referir a este propósito que o consumo diário indicado para a máquina de lavar (que será tratada como Máquina de Lavar Vácuo) é uma média dos consumos medidos entre os dias 09 a 11 de janeiro de 2013).

Tabela 3.9 - Consumos diários medidos nos equipamentos ligados ao QTêmpera [2]

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Têmpera						
Consumo (u.e.)	Dia					
	11/12	12/12	13/12	14/12	15/12	16/12
B56RN	938,30	852,86	915,82	517,07	739,12	761,61
B85T	1.638,22	1.562,02	2.164,33	1.856,72	2.505,96	1.532,03
B74T	920,09	750,48	989,40	550,75	1.045,104	519,38
Máquina de Lavar Vácuo	659	659	659	659	659	659

Ora, ao quadro parcial do sector de têmpera (QTêmpera) estão eletricamente ligados os fornos B56RN, B85T, B74T, B84T-1 e B84T-2.

Visto que há fornos de têmpera cujos consumos energéticos parciais não foram monitorizados durante a auditoria (fornos B84T-1 e B84T-2), mas que, como já referido, há fornos cujos comportamentos são semelhantes, foi necessário e possível fazer uma estimativa dos seus consumos.

Na previsão de uma desagregação, mais ou menos credível, do consumo energético referente ao QTêmpera, foram estabelecidas e estudadas duas estratégias diferentes:

- 1) Deduzir os consumos conhecidos de cada forno ao consumo geral do QTêmpera, repartindo o restante, igualmente, pelos fornos B84T-1 e B84T-2;
- 2) Replicar o consumo do forno B74T para cada um dos fornos B84T-1 e B84T-2, já que qualquer um deles tem um comportamento semelhante ao daquele.

Aplicando a primeira estratégia, é possível observar no gráfico 3.9 os resultados da desagregação de consumos pretendida.

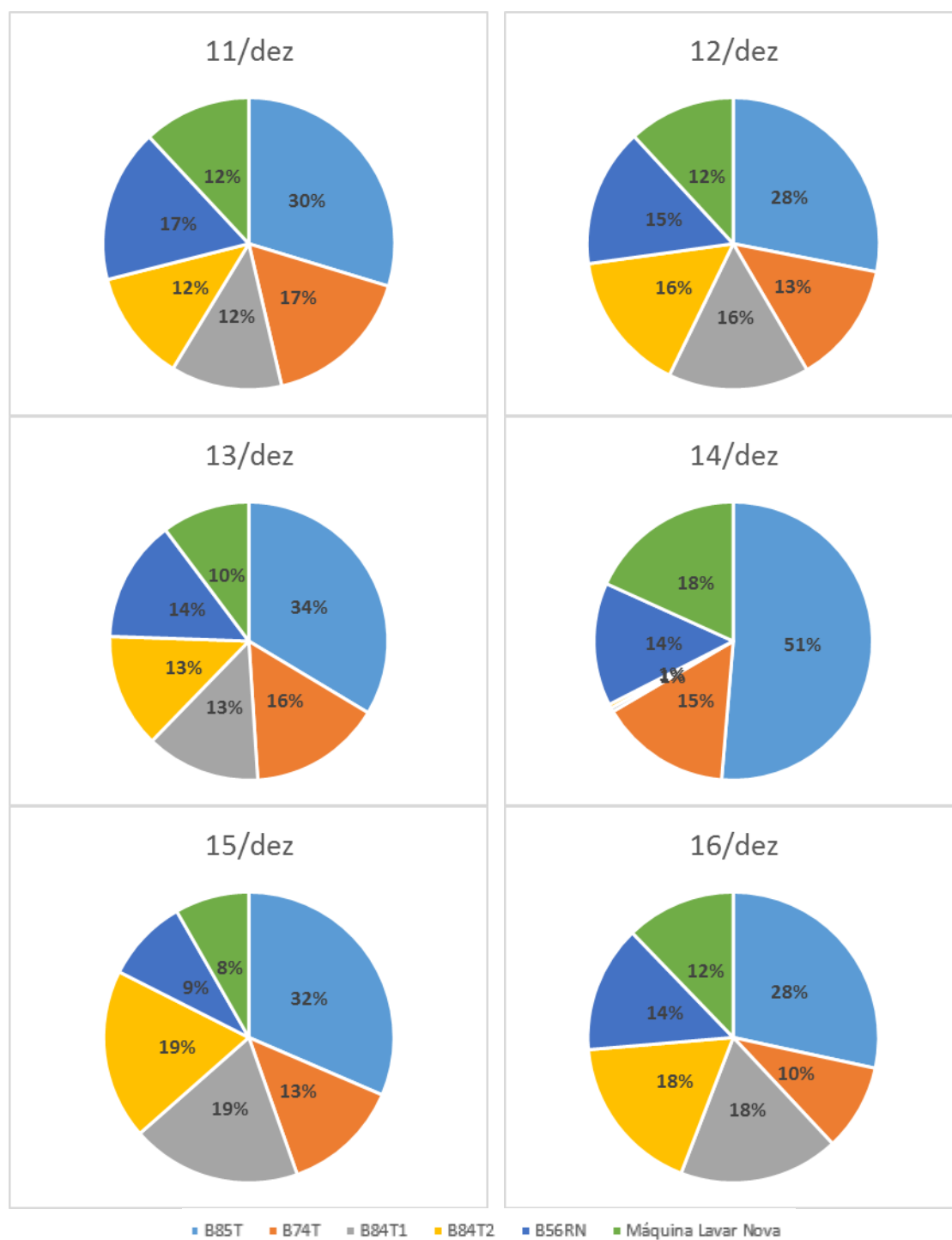
Como seria de esperar, tendo presente que o forno B85T é o que apresenta maior capacidade de carga individual (1,5 t), será também ele o forno que mais energia consome em termos individuais: cerca de 34% em média, com valores extremos que irão desde os cerca de 30 a 50%.

Já o forno B74T deverá ser responsável, individualmente, por cerca de 14% do consumo imputável ao QTêmpera, com valores extremos compreendidos entre 10 e 20%;

O mesmo se passando com o forno B56RN que consumirá, individualmente, uma quota-parte média de cerca de 14% do sector de têmpera, com valores extremos que também irão dos 10 a 20%.

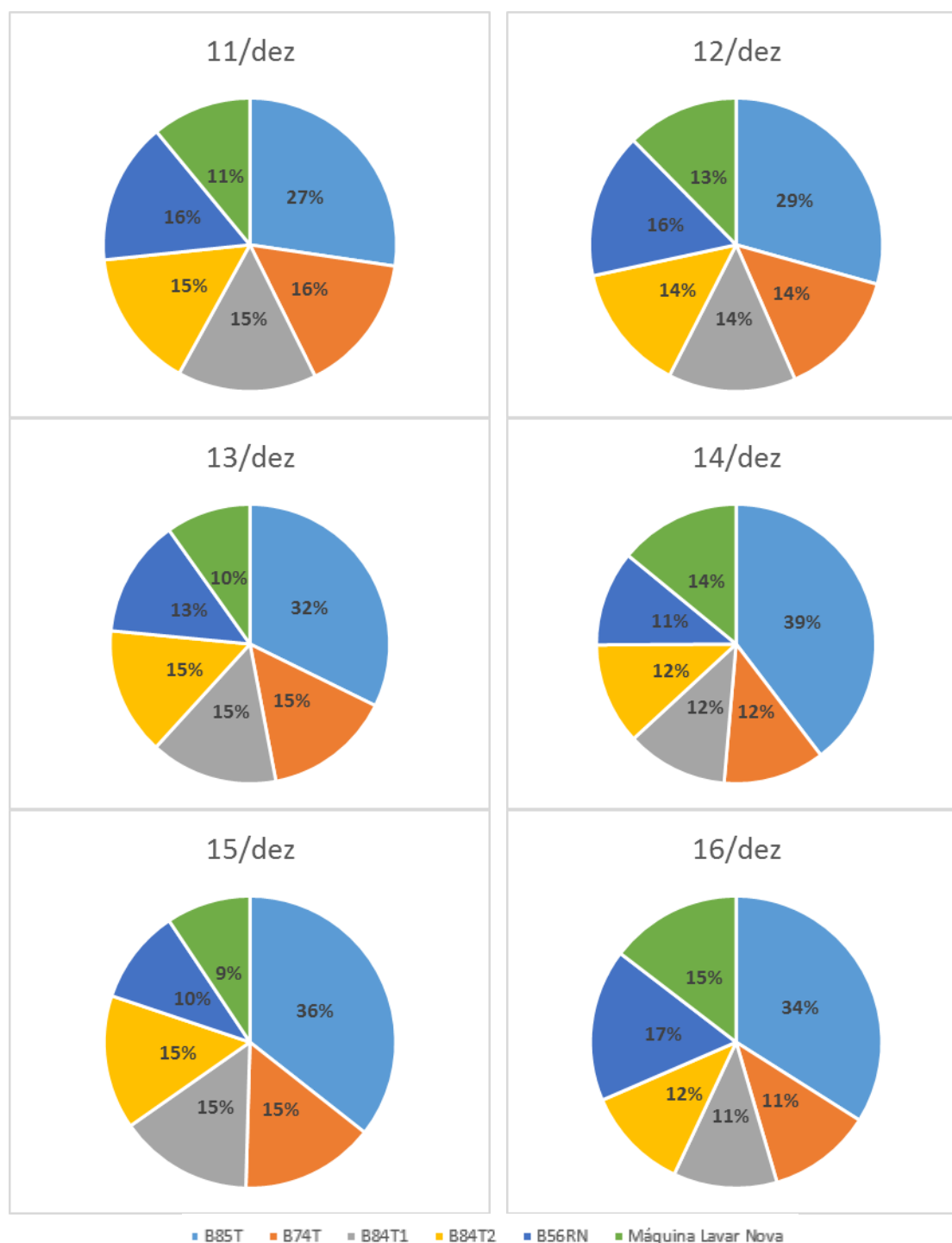
Os restantes fornos, B84T-1 e B84T-2, serão responsáveis, no seu conjunto, por cerca de 26% do consumo imputável ao QTêmpera, não esquecendo que, dentro da ótica adotada, cada um deles apresentará metade do indicador de consumo estabelecido. Este valor, relativamente elevado, parece coerente com o facto de estes fornos serem dos utilizados com maior frequência no sector [2].

No quadro parcial do sector de têmpera está ainda ligada a Máquina de Lavar Vácuo. A sua inclusão nesta análise é bastante importante pois, quando comparado com os dos fornos do mesmo sector, o seu consumo energético é, por vezes, aproximado ao de um deles: em média, o peso do seu consumo andarà pelos 12%, com valores extremos que irão dos 10% aos 20% do total medido no QTêmpera.



**Gráfico 3.9** - Previsão da desagregação de consumos no sector de têmpera (estratégia #1)

Seguindo agora a segunda estratégia de desagregação de consumos, o gráfico 3.10 mostra a previsão alternativa para a distribuição dos consumos energéticos do QTêmpera:



**Gráfico 3.10** - Previsão da desagregação dos consumos no sector de têmpera (estratégia #2)

Como se pode ver, ambas as estratégias estabelecidas para a previsão da desagregação do consumo energético no sector de têmpera conduzem a resultados muito próximos entre si.

Possuindo as mesmas um grau de plausibilidade semelhante, houve que selecionar a mais representativa da situação verificada aquando da medição de consumos nos equipamentos de têmpera.

Após cuidada análise de ambas as estratégias, considerou-se que a primeira seria a mais representativa, já que esta possui uma particularidade: o gráfico de desagregação de consumos referente ao dia 14 de dezembro de 2012 mostra que os fornos B84T-1 e B84T-2

contribuíram de uma forma bastante reduzida no consumo medido. Tal situação é confirmada pela lista de ordens de trabalho disponibilizadas pela empresa, que mostram que os fornos em questão apenas começaram o seu trabalho a horas bastante tardias nesse dia, muito perto da transição para 15 de dezembro de 2012.

Assim sendo, grande parte de energia elétrica imputável aos processos associados aos tratamentos verificados nestes dois fornos foi automaticamente transferida para o dia seguinte (15 de dezembro), sendo prova disso a grande quantidade de energia que deverá ter sido consumida por eles nesse dia (pico de 19%).

Neste contexto, são apresentados na tabela 3.10 os resultados assumidos para a distribuição do consumo energético do sector de têmpera pelos equipamentos nele existentes:

**Tabela 3.10** - Dados utilizados na estratégia que melhor representa o funcionamento do sector de têmpera

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Têmpera								
Dia	Consumos (u.e.)							
	QTêmpera	B85T	B74T	B84T-1	B84T-2	B56RN	Máq. Lavar Nova	Diferença
11/12	5.516,82	1.638,23	920,09	680,60	680,60	938,30	659	680,60
12/12	5.561,05	1.562,02	750,48	868,34	868,34	852,86	659	868,34
13/12	6.439,68	2.64,32	989,40	855,56	855,56	915,82	659	855,56
14/12	3.616,87	1.856,72	550,75	16,67	16,67	517,07	659	16,67
15/12	7.963,88	2.505,96	1.045,10	1.507,35	1.507,35	739,12	659	1.507,35
16/12	5.394,42	1.532,03	519,38	961,20	961,20	761,61	659	961,20

Concluindo: neste sector da têmpera, à exceção de um dia, é possível afirmar então que o seu comportamento se mantém constante de dia para dia trabalhado, não existindo grandes variações nos consumos energéticos individuais dos diferentes equipamentos nele presentes.

### 3.3.2 - Quadro Parcial do Sector de Revenido

Na tabela 3.11 são apresentados os consumos “elétricos” registados no quadro parcial do sector de revenido (QRevenido) no período compreendido entre os dias 11 e 16 de dezembro de 2012.

Tabela 3.11 - Consumos diários no QRevenido [2]

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Revenido	
Dia de Medição	Consumo (u.e.)
11/12	2.871,50
12/12	2.961,28
13/12	2.922,12
14/12	2.845,52
15/12	2.852,17
16/12	2.891,60

Na tabela 3.12 são apresentados os consumos “elétricos” do forno B74R, da torre de refrigeração e da bombagem, registados no mesmo período, sendo de referir a este propósito que o consumo diário indicado para cada um destes dois últimos equipamentos é uma média dos seus consumos medidos ao longo de dias normais de funcionamento, e cujos registos foram realizados em data posterior, em sessão de medição requisitada no âmbito do presente estudo.

Tabela 3.12 - Consumos diários medidos nos equipamentos ligados ao QRevenido [2]

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Revenido			
Dia	Consumos (u.e.)		
	B74R	Torre de Refrigeração	Bombagem
18/12	354,80	160	313
19/12	483,06		
20/12	392,92		
21/12	503,72		
22/12	162,99		

Ora, como já referido, o quadro parcial do sector de revenido (QRevenido) alimenta, principalmente, os fornos B55RN, B54RN, B54R, B54RI e B74R.

Mais uma vez, durante a auditoria realizada não foi possível medir neste quadro parcial o consumo de todos aqueles fornos. Assim sendo, também neste sector teve de ser feita uma estimativa da distribuição de consumos, aproveitando a semelhança de funcionamento entre fornos existentes, nomeadamente, entre os fornos B74R, B54RN, B54R e B54RI.

Como no quadro parcial do sector de revenido apenas foi monitorizado o consumo energético de um dos fornos nele ligados, o que deixa em aberto bastantes variáveis, optou-se por replicar os consumos do forno B74R para os fornos B54RN, B54R e B54RI, estimando-se



o consumo do forno B55RN, que tem características diferentes, subtraindo ao consumo total medido no QRevenido os consumos já estimados para os outros fornos presentes, acrescidos com a média de consumo da torre de refrigeração e da bombagem apresentados na tabela 3.12.

A previsão da distribuição do consumo energético do sector de revenido, seguindo a estratégia apresentada acima, está representada no gráfico 3.11.

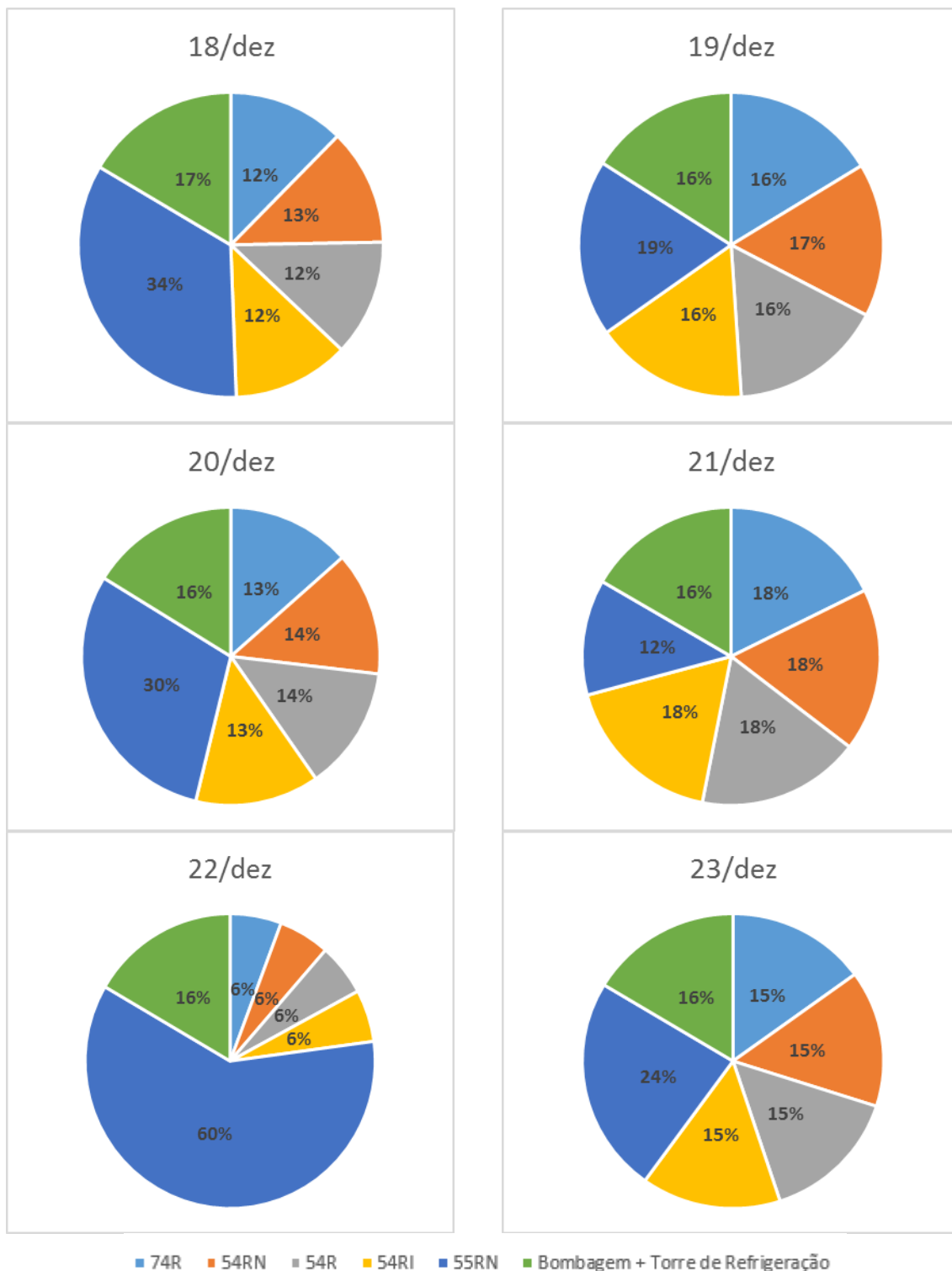


Gráfico 3.11 - Previsão da distribuição dos consumos no sector de revenido

Ao contrário do comportamento identificado no sector de têmpera, o comportamento no sector de revenido não se mostra tão regular. De facto, a observação do gráfico 3.11 permite retirar algumas conclusões bastante interessantes.

Numa primeira observação, é possível afirmar que o forno B55RN aparenta ser responsável por grande parte (cerca de 30% em termos médios) do consumo “elétrico” imputável ao QRevenido, sendo aquele consumo bastante irregular (oscilando entre os 12% e os 60%). Assim sendo, este é o forno que mais energia consome no sector de revenido, embora existam alguns dias em que o seu consumo esteja próximo dos restantes. O que pode ser explicado por recurso às listas com as ordens de produção deste forno e à forma de gestão interna das mesmas (momento de lançamento).

O conjunto dos fornos que exibem comportamentos semelhantes, B74R, B54RN, B54R e B54RI, são responsáveis por uma grande fatia (cerca de 52% em média) do consumo energético do sector de revenido, que à semelhança do forno B55RN, também é bastante variável (entre 24% e 65%). De forma individual, os seus consumos deverão variar entre os 5% e os 15%.

Uma das conclusões mais interessantes desta análise - e que, inclusive, foi surpreendente para os serviços técnicos da secção - diz respeito ao consumo energético imputável ao conjunto formado pela torre de refrigeração e sistema de bombagem.

Analizando todos os dias e com base nas médias de consumo diário calculadas, é possível afirmar que o consumo combinado destes dois equipamentos assemelha-se, em muito, ao consumo individual de um forno.

Do que se concluiu ser necessário ter em conta estes equipamentos quando forem estudadas medidas de gestão energética, sendo neste âmbito necessário dedicar um pouco mais de atenção ao sistema de bombagem pois, de forma individual, este evidencia um consumo energético diário que é aproximadamente igual ao dobro do da torre de refrigeração.

Por último é de realçar que neste sector de revenido, que faz parte da Nave de Vácuo, não ser possível indicar um comportamento “típico”, que se repita ao longo de um espaço temporal considerável. Apenas é possível indicar, com base em estimativas, os equipamentos que são passíveis de acarretar maiores consumos energéticos.

### 3.4 - Quadro Parcial da Nave de Atmosfera Controlada

Na tabela 3.13 são apresentados os consumos “elétricos” registados em equipamentos instalados no interior da Nave de Atmosfera Controlada no período compreendido entre os dias 18 e 23 de dezembro de 2012. No respeitante ao consumo energético da máquina de lavar, que será referida como Máquina de Lavar Atmosfera Controlada, o valor inscrito é uma média dos consumos nela medidos durante o período indicado.

Tabela 3.13 - Consumos diários medidos nos equipamentos ligados ao QAtmosfera Controlada [2]

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Atmosfera Controlada						
Consumo (u.e.)	Dia					
	18/12	19/12	20/12	21/12	22/12	23/12
B64THC	1.338,61	1.090,43	1.177,76	1.256,38	989,19	1.242,88
KOS	894,42	923,90	612,81	765,54	861,40	719,46
FCA	193,96	189,83	204,91	172,48	98,10	89,50
Máquina de Lavar Atmosfera Controlada	86	86	86	86	86	86

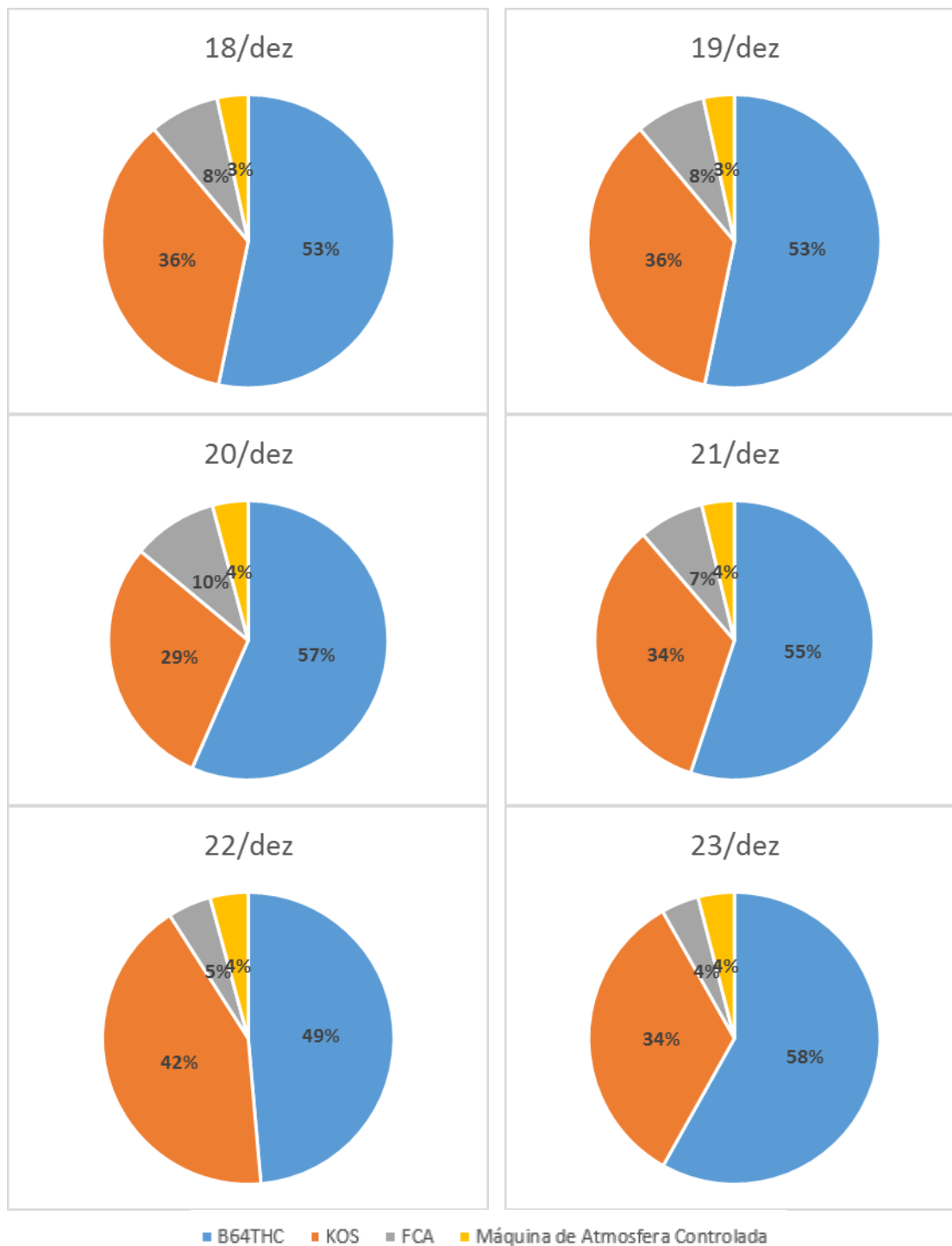
O quadro parcial da Nave de Atmosfera Controlada (QAtmosfera Controlada) alimenta os fornos FCA, KOS e B64THC, bem como uma máquina de lavar. Ao contrário do que acontecia na Nave de Vácuo, nesta nave não há equipamentos cujo consumo e modo de funcionamento sejam semelhantes.

A desagregação do consumo energético desta Nave de Atmosfera Controlada, em termos relativos da contribuição de cada equipamento alimentado e com base nos valores da tabela anterior, é a apresentada no gráfico 3.12.

A análise deste gráfico permite afirmar que o forno B64THC evidencia ser o responsável por grande parte do consumo energético verificado na Nave de Atmosfera Controlada: cerca de 55% em média, com extremos entre 50 e 60%.

Já ao forno KOS pode ser atribuída uma parcela de consumo rondando pouco mais de um terço do consumo energético imputável à mesma nave, oscilando entre os 30 e os 40%.

O restante consumo “elétrico” da Nave de Atmosfera Controlada está distribuído pela máquina de lavar atmosfera controlada e pelo forno FCA: a máquina de lavar não ultrapassa os 5% do consumo setorial, sendo que o forno FCA pode chegar a atingir os 10% do mesmo



**Gráfico 3.12** - Previsão da distribuição dos consumos na Nave de Atmosfera Controlada

### 3.5 - Quadro Parcial da Nave de Contínuo

A Nave de Contínuo esteve sujeita a dois períodos de medição dos seus consumos energéticos:

- Entre os dias 7 e 11 de janeiro de 2013, aquando da realização da auditoria que vem sendo mencionada nesta dissertação;
- Entre os dias 22 e 23 de março de 2013, por requisição complementar no âmbito do presente estudo;

Os dados assim obtidos estão apresentados na tabela 3.14:

**Tabela 3.14** - Consumos diários médios registados no forno Solo [2]

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Contínuo	
Dia de Medição	Consumo (u.e.)
07/01	982
08/01	1.002
09/01	999
10/01	1.003
11/01	918
Entre 22/03 e 23/03	900

A este propósito refira-se que o quadro elétrico parcial respeitante à Nave de Contínuo (QContínuo), como já referido, é responsável pela alimentação de toda uma série de aparelhos, muitos dos quais se encontravam fora de serviço aquando da realização da auditoria à secção dos Tratamentos Térmicos (e, até, durante o período de realização do presente estudo).

Assim sendo, os consumos medidos neste quadro parcial dizem apenas respeito ao forno designado por Solo. Sendo certo que se verificarão outros consumos energéticos no interior desta nave, eles parecem ser meramente residuais quando comparados com os verificados em tal forno.

Como é possível observar na tabela 3.14, o consumo médio do forno Solo situa-se entre os 900 u.e./dia e os 1.000 u.e./dia.

De referir que na medição realizada entre 07 e 11 de janeiro de 2013, o forno Solo encontrava-se a realizar trabalho útil, a uma temperatura de 900°C, que é a temperatura usual em modo de trabalho.

Nos dias 22 e 23 de março do mesmo ano, a produção de tal forno baixou e, em muitos dos momentos, estava em modo *standby*, com uma temperatura igual a 650°C, tal como é usual neste modo.

Como é possível verificar, a diferença entre os consumos energéticos do forno Solo em modo de trabalho útil e em modo de *standby* não é grande: apenas cerca de 100 u.e./dia (10%).

### 3.6 - Considerações Finais

O estudo dos consumos energéticos nas instalações da secção de Tratamentos Térmicos da empresa foi efetuado a partir de dois conjuntos de dados independentes, ambos fornecidos pela própria empresa, que incluíram os dados requisitados no âmbito do presente trabalho, bem como dados que resultaram da auditoria energética anteriormente realizada. O tratamento de tais dados permitiu aprofundar o estudo em curso e retratar, de uma forma mais precisa, o funcionamento de tal secção.

Tal tratamento conduziu a uma desagregação plausível do consumo energético imputável à secção de Tratamentos Térmicos, tornando assim possível retirar diversas ilações que foram apresentadas ao longo do presente capítulo e serão resumidas nesta secção.

A primeira conclusão retirada no estudo efetuado prende-se com o facto de a secção de Tratamentos Térmicos ter um peso significativo (mais de 60%) no consumo global de energia elétrica por parte da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A..

Por outro lado, ficou também demonstrado que a distribuição dos consumos “elétricos” pelas diferentes naves da secção de Tratamentos Térmicos da empresa corresponde à distribuição dos fornos pelas mesmas, isto é, na nave onde existem mais fornos, o consumo energético dessa nave é superior.

A nave que mais fornos contém é a Nave de Vácuo, onde estão instalados os fornos responsáveis pelos tratamentos de têmpera e de revenido, cujo consumo de energia elétrica corresponderá a cerca de 73% do total anual consumido pela secção de Tratamentos Térmicos em 2012.

Os restantes 27% da energia elétrica anualmente consumida pela secção estão divididos pelas outras duas naves: a Nave de Atmosfera Controlada, por possuir um maior número de equipamentos produtivos, terá sido responsável por 19% daquele consumo global; sendo imputáveis os restantes 8% de consumo à Nave de Contínuo, que é assim a que menos energia elétrica consome, devido às características muito próprias do forno lá instalado e, também, ao volume de ordens de trabalho que lhe foram sendo atribuídas em 2012.

Adicionalmente, foi ainda possível desagregar os consumos energéticos associados a cada uma das naves da secção de Tratamentos Térmicos.

No caso particular da Nave de Vácuo, o seu consumo energético é fortemente influenciado pelo sector de têmpera (2/3), sendo que o sector de revenido possui um consumo que se mantém bastante estável ao longo do tempo. Esta situação verifica-se pois os fornos do sector de têmpera, para além de terem capacidades de carga maiores, são aqueles que são usados com maior frequência.

Analisando de forma mais detalhada a energia elétrica que transitou pelo quadro parcial do sector de têmpera (QTêmpera), verificou-se que o forno que mais energia consome é o forno B85T; e que os fornos B74T, B84T-1 e B84T-2 representam, em conjunto, cerca de 40% deste consumo setorial, talvez por serem aqueles que são utilizados com maior frequência.

Por sua vez, também se concluiu que a potência elétrica transitada pelo quadro parcial do sector de revenido (QRevenido) não apresentou uma distribuição tão regular como a do QTêmpera. O forno com maior consumo individual foi, sem dúvida, o forno B55RN. A que acresce o facto de se ter ainda apurado que o conjunto da torre de refrigeração e do sistema de bombagem terem, de forma combinada, um consumo global similar ao de um forno de tratamento (não sendo por isso de desprezar em estudos de racionalização futuros).

Já a Nave de Atmosfera Controlada evidenciou um perfil de consumos bastante regular, em que o forno que mais energia elétrica consumiu foi o B64THC, logo seguido pelo forno

KOS. O forno FCA e a máquina de lavar presente nesta nave têm um consumo inferior quando comparados com os dois primeiros.

Quanto à Nave de Contínuo, verificou-se que a mesma tem um funcionamento bastante particular: tomando as médias de consumos “elétricos” diários do forno Solo, apurou-se que o mesmo se situa entre os 900 u.e./dia (em modo de *stand by*) e os 1.000 u.e./dia (em modo de trabalho útil), pelo que não será muito significativa a diferença de consumos energéticos deste forno entre ambos os estados.

Daí o ter-se concluído ser aconselhável realizar um estudo mais aprofundado sobre o modo de comando e/ou de operação do forno Solo, de modo a estabelecer se há ou não a possibilidade de poupança energética.

Por último é de referir que, enquanto as naves de Atmosfera Controlada e de Contínuo não têm os seus perfis de consumos energéticos significativamente afetados pelos meses de agosto e de dezembro - meses estes de paragens produtivas mais ou menos extensas - já a Nave de Vácuo terá o seu consumo energético bastante afetado nesses mesmos meses.





## Capítulo 4

### Custos de Produção

Neste capítulo, pretende-se dar a conhecer os custos de produção associados aos equipamentos que constituem a secção de Tratamentos Térmicos da empresa. Uma vez mais, serão utilizados dados fornecidos pela mesma bem como dados resultantes da auditoria energética realizada.

Como “produção” da secção de Tratamentos Térmicos tomou-se o peso do conjunto de aços tratados na mesma, num dado período temporal, apurado com base nas listas de ordens de fabrico internamente emitidas e registadas.

Por sua vez, por “custo de produção” de um equipamento fixou-se o valor monetário associado à compra da energia elétrica necessária à realização de tal produção, com base no preço efetivo de compra de energia elétrica ativa apurado para a empresa em janeiro de 2013.

O objetivo principal deste capítulo é apurar o consumo energético e o custo associado por unidade de massa de aço tratado dos principais equipamentos produtivos da mesma secção.

#### 4.1 - Produção na Secção de Tratamentos Térmicos

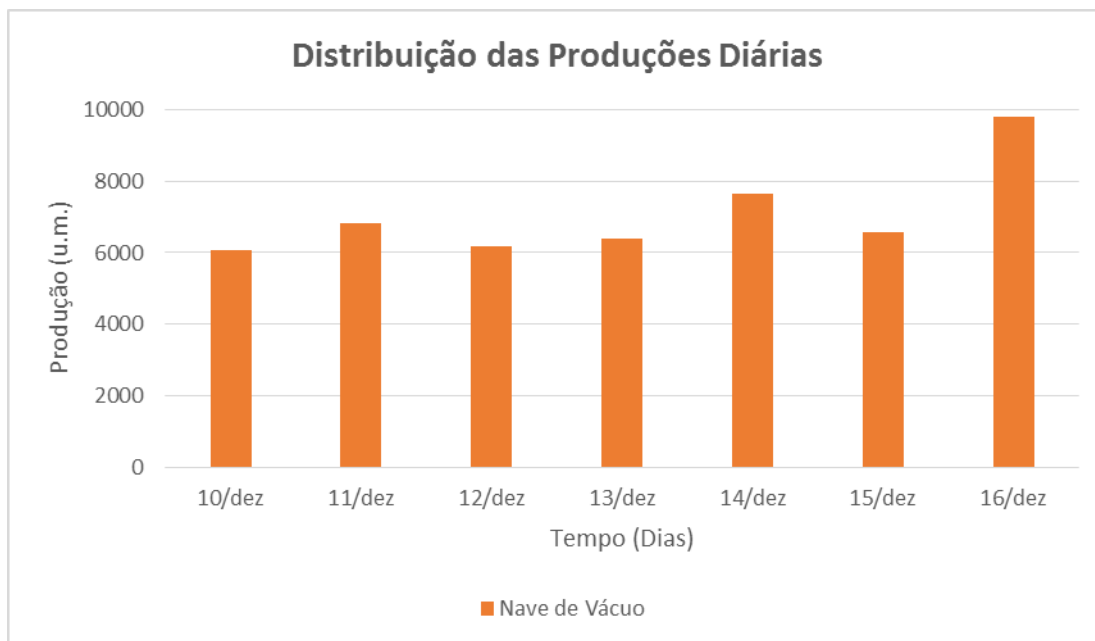
A avaliação da eficiência energética dos equipamentos presentes na secção de Tratamentos Térmicos pode e deve ser realizada tendo em conta o seu consumo energético e a produção a ela associada.

Em seguida serão apresentadas e analisadas as produções relativas a cada uma das 3 naves constituintes da secção de Tratamentos Térmicos da empresa, bem como a desagregação dessas mesmas produções pelos seus principais equipamentos, apurada na sequência deste trabalho.

A este propósito é de referir ainda que, no que diz respeito à Nave de Contínuo, será utilizada uma média diária da produção nela verificada-

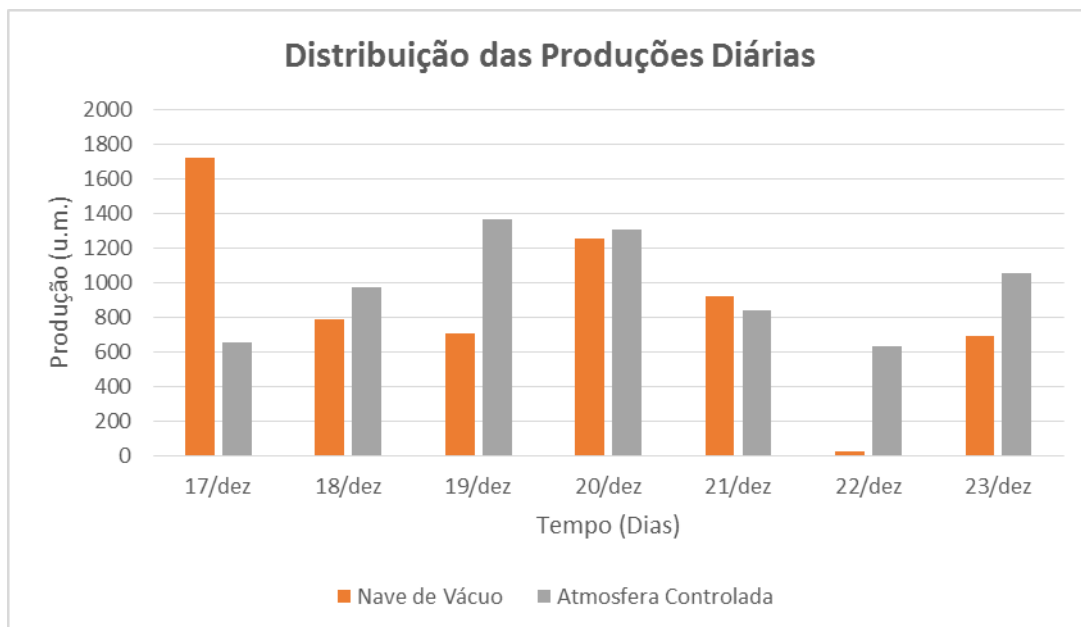
Durante o período de tempo da auditoria energética, para além das medições dos consumos “elétricos” foram também obtidas as respetivas produções para cada forno analisado. Tendo em conta que a medição efetuada teve dois períodos de tempos distintos:

- As produções apresentadas de 10/12 a 16/12 (gráfico 4.1) englobam os fornos do sector de têmpera e do sector de revenido à exceção do forno B74R;

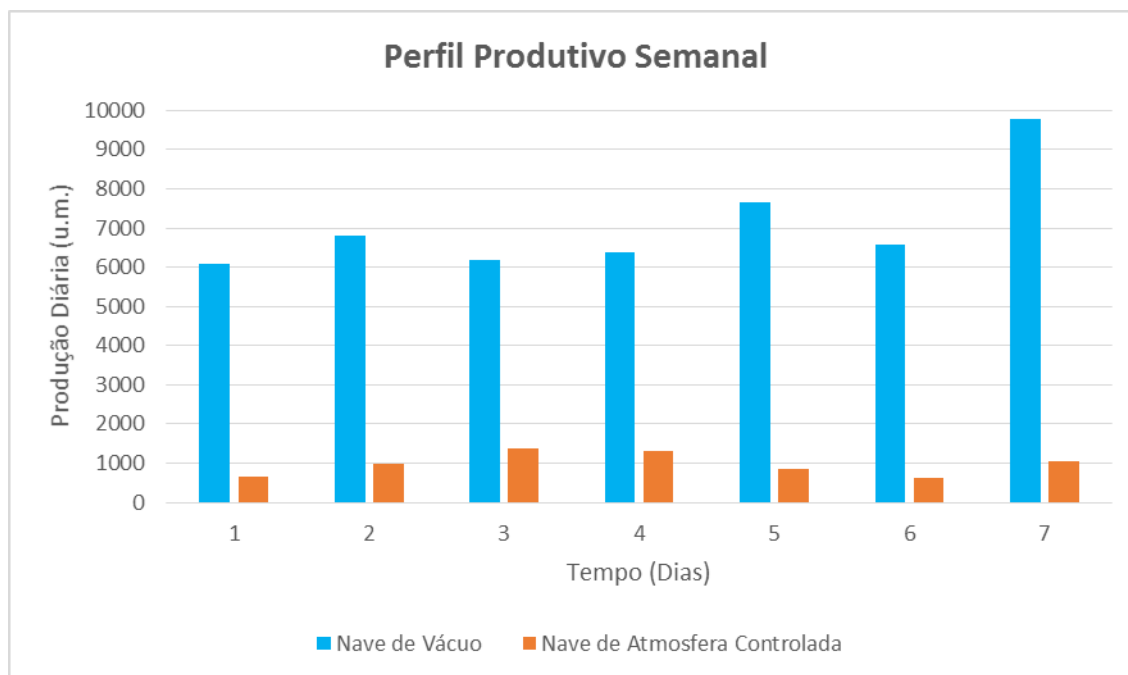


**Gráfico 4.1** - Produções retiradas das ordens de trabalho entre os dias 10/12 a 16/12

- As produções dos dias 17/12 a 23/12 (gráficos 4.2) incluem os fornos presentes na Nave de Atmosfera Controlada, bem como o forno B74R que não fora alvo de medição na primeira semana.



**Gráfico 4.2** - Produções retiradas das ordens de trabalho entre os dias 17/12 a 23/12



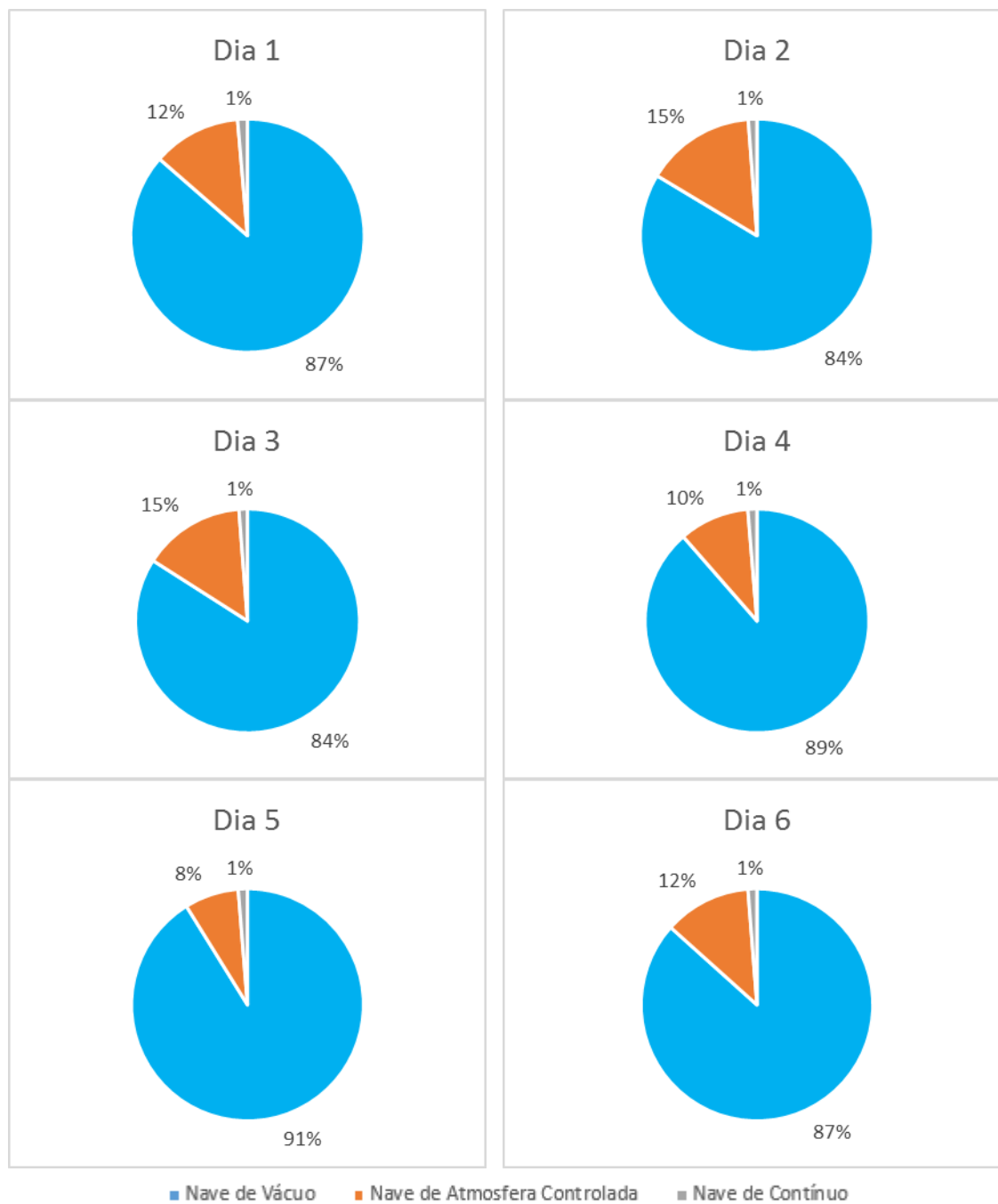
**Gráfico 4.3** - Distribuição das produções diárias aglomeradas nas naves de Vácuo e Atmosfera Controlada

O gráfico 4.3 mostra então um perfil produtivo semanal associável ao funcionamento “normal” das naves de Vácuo e de Atmosfera Controlada, sendo de mencionar que, nesta fase da análise, se omitiu propositadamente a produção semanal da Nave de Contínuo pois, como se poderá observar mais à frente, a mesma é marginal (muito reduzida) quando comparada com a das restantes.

Como facilmente se verifica, as produções entre os dias 1 e 6 (entre segunda feira e sábado) apuradas na Nave de Vácuo mostram um comportamento bastante regular sendo que, os níveis de produção se mantêm constantes, variando entre as 7.000 e as 7.500 u.m..

No que aos dias 7 e 8 diz respeito, estes não devem ser considerados pois, da parte da Nave de Atmosfera Controlada correspondem ao dia 24 e 25 de dezembro. Nesses dias, há uma redução da produção não sendo dias representativos do real funcionamento da secção de Tratamentos Térmicos.

À semelhança do apurado com a distribuição dos consumos energéticos por nave e tal como seria de esperar, também na distribuição das produções é a Nave de Vácuo que mais peso tem no total da produção da secção de Tratamentos Térmicos. É possível observar que a produção da Nave de Atmosfera Controlada é apenas uma fração da produção total.



**Gráfico 4.4** - Distribuição percentual das produções nas naves de Vácuo, Atmosfera Controlada e Contínuo

#### 4.1.1 - Produção na Nave de Vácuo

Como já referido anteriormente, a Nave de Vácuo é a responsável pela maior parte da produção verificada na secção de Tratamentos Térmicos.

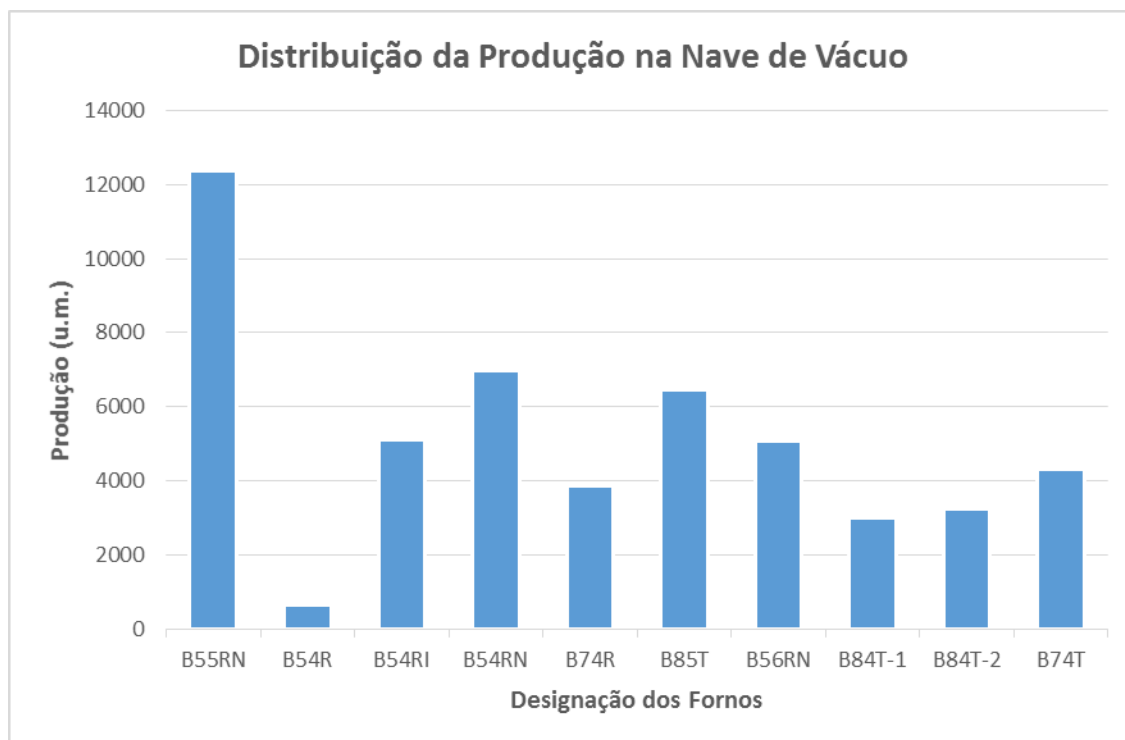
A tabela 4.1 mostra a evolução da produção diária de todos os fornos pertencentes a esta nave, no período compreendido entre os dias 10 e 16 de dezembro de 2012. A este propósito recorda-se que, em tal tabela, os cinco primeiros fornos dizem respeito ao sector de revenido, enquanto os cinco restantes são do sector de têmpera.

**Tabela 4.1** - Produção diária (10-16 de dezembro de 2012) na Nave de Vácuo

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Vácuo							
Produção (u.m.)	Dia						
	10/12	11/12	12/12	13/12	14/12	15/12	16/12
B55RN	2.007	1.257	985	1.515	1.338	1.820	3.445
B54R	434	15	0	103	0	0	0
B54RI	32	931	424	1.141	986	675	182
B54RN	499	1.208	486	1.276	742	1.449	1.029
B74R	1.018	210	791	76	365	591	808
B85T	97	684	938	641	2.234	461	1.395
B56RN	744	1.171	689	724	623	0	933
B84T-1	434	780	169	294	317	935	82
B84T-2	297	0	716	0	519	386	1.161
B74T	510	557	977	621	524	270	747

A agregação semanal e por forno de tais evoluções, apresentada no gráfico 4.5, permite concluir que:

- O forno B55RN é o que evidencia o maior volume de produção no período de tempo correspondente à auditoria energética: de facto, este foi responsável pelo tratamento de, aproximadamente,  $12,4 \times 10^3$  u.m. de aço por semana de laboração.
- No patamar produtivo seguinte encontram-se os fornos B54RI, B54RN, B85T, B56RN e B74T, com produções que variam entre  $(4 \text{ e } 7) \times 10^3$  u.m. de aço tratado por semana.
- Entre  $(3 \text{ e } 4) \times 10^3$  u.m. de aço tratado por semana estão os fornos B74R, B84T-1 e B84T-2.
- Com uma produção semanal bastante baixa ( $0,55 \times 10^3$  u.m. de aço tratado) está o forno B54R. Este nível de produção é atípico, já que se ficou a dever a uma avaria no forno que impossibilitou a sua utilização normal - segundo informações recolhidas, só a perícia dos seus serviços técnicos de manutenção permitiu recorrer, mesmo assim, a este forno em auxílio da produção escalonada (situação de recurso que não mais se repetiu até que o forno estivesse completamente reparado).



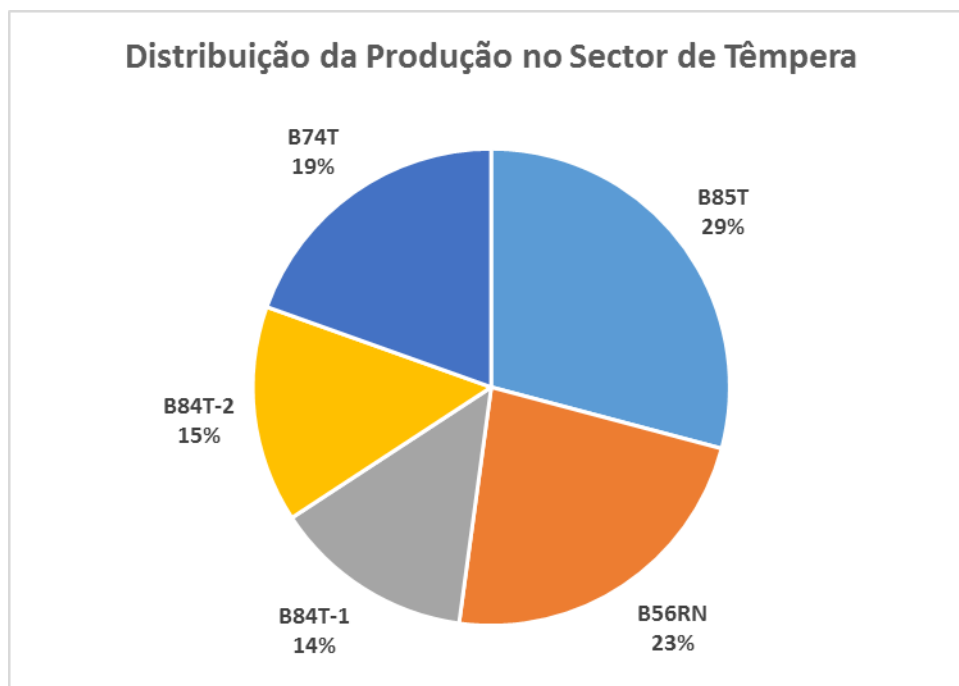
**Gráfico 4.5** - Produções semanais (10-16 de dezembro de 2012) dos fornos da Nave de Vácuo

Os gráficos 4.6 e 4.7 mostram a distribuição, de cada um dos sectores da Nave de Vácuo, da produção dos fornos. O primeiro diz respeito ao sector de têmpera e o segundo ao sector de revenido.

Ambos os gráficos foram conseguidos através da totalização das produções diárias correspondentes a cada um dos fornos, durante o período correspondente à auditoria energética realizada nas instalações.

**Tabela 4.2** - Produções semanais (10-16 de dezembro de 2012) dos fornos do sector de têmpera

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Têmpera	
Designação dos Fornos	Produção Total (u.m.)
B85T	6.450
B56RN	4.884
B84T-1	3.011
B84T-2	3.079
B74T	4.206



**Gráfico 4.6** - Distribuição da produção semanal (10-16 de dezembro de 2012) no sector de têmpera

O forno B85T é responsável por aproximadamente 30% da produção no sector de têmpera. Tal deve-se ao facto de, este ser o que apresenta maior capacidade de carga deste sector e que, mesmo não sendo utilizado com grande frequência, possibilita grandes cargas unitárias para tratamento sempre que é utilizado [2].

Ao B56RN está associado quase um quarto da produção semanal do sector, sendo que os fornos que são utilizados com maior frequência (fornos B74T, B84T-1 e B84T-2) são, globalmente, os responsáveis por quase 50% do total produzido no sector de têmpera

**Tabela 4.3** - Produções semanais (10-16 de dezembro de 2012) dos fornos no sector de revenido

Secção de Tratamentos Térmicos - Sector de Revenido	
Designação dos Fornos	Produção Total (u.m)
B55RN	12.367
B54R	552
B54RI	4.371
B54RN	6.689
B74R	3.859

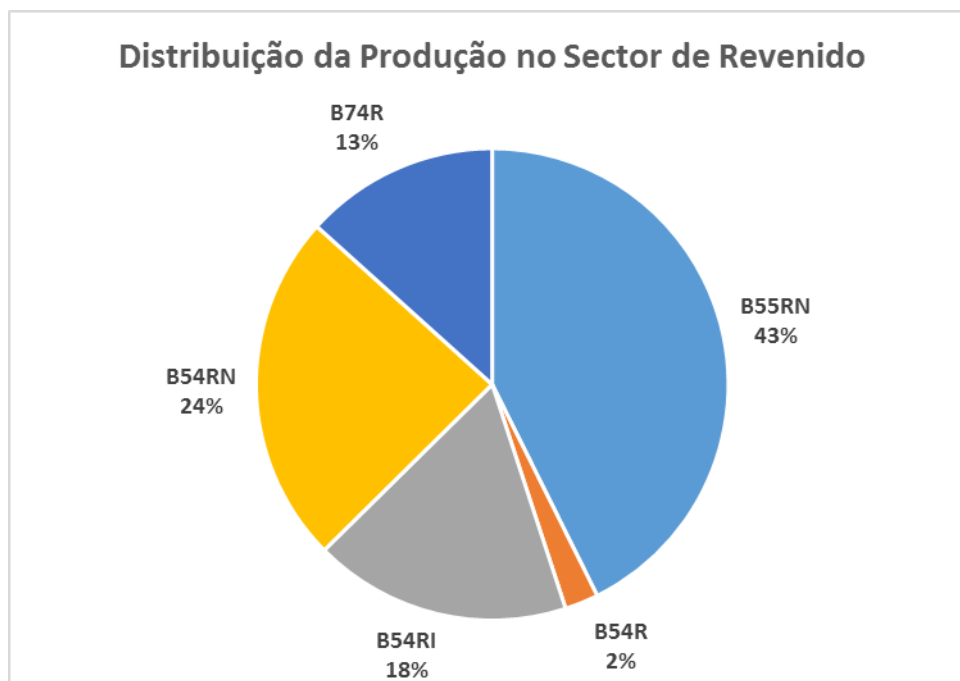


Gráfico 4.7 - Distribuição da produção semanal (10-16 de dezembro de 2012) no sector de revenido

Como já referido, o forno B55RN é o responsável por uma grande parte da produção da Nave de Vácuo; logo, tal peso produtivo terá de ser necessariamente maior quando se analisa separadamente, a produção no sector de revenido. De facto, este forno é responsável por pouco menos de 45% da produção semanal deste sector.

O forno B54RN situa-se num segundo patamar produtivo, com uma produção que corresponderá a cerca de um quarto da produção semanal do sector de revenido, sendo que aos fornos B74R e B54RI, no seu conjunto, está associada cerca de 30% da mesma produção.

Em comparação com os restantes, a produção do forno B54R é ínfima: apenas 2% do total da produção semanal verificado no sector de revenido.

#### 4.1.2 - Produção na Nave de Atmosfera Controlada

Na Nave de Atmosfera Controlada são apenas três os equipamentos (fornos KOS, FCA, B64 THC), os responsáveis pela produção. A tabela 2 mostra os valores, em u.m., de aço tratado por cada um desses equipamentos no período compreendido entre os dias 17 e 24 de dezembro de 2012.

Tabela 4.4 - Produção diária (17-24 de dezembro de 2012) na Nave de Atmosfera Controlada

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Atmosfera Controlada								
Produção (u.m.)	Dia							
	17/12	18/12	19/12	20/12	21/12	22/12	23/12	24/12
KOS	204	309	471	302	337	107	324	---
FCA	32	259	673	384	250	461	348	31
B64 THC	420	402	223	616	250	67	380	143



Através da totalização dos valores diários das produções e com o auxílio do gráfico 4.8, é possível perceber que as produções da Nave de Atmosfera Controlada estão bastante equilibradas entre os 3 fornos constituintes: cada equipamento é responsável por cerca de um terço da produção total.

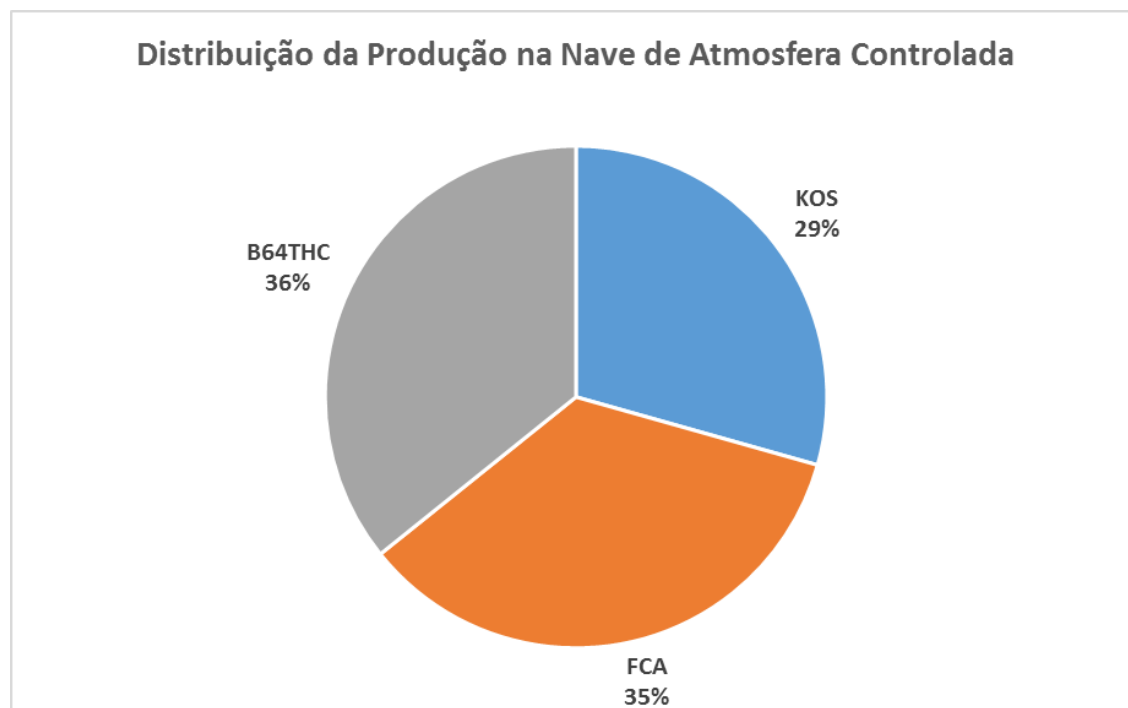


Gráfico 4.8 - Distribuição da produção na Nave de Atmosfera Controlada

#### 4.1.3 - Produção na Nave de Contínuo

A produção da Nave de Contínuo é um caso bastante particular na secção de Tratamentos Térmicos, pois o tempo em que esta se encontra efetivamente em produção é bastante reduzido.

Assim, dado o valor marginal da produção verificada nesta nave e de modo a conseguir estimar a sua produção diária, foi calculada uma média de produções ao longo de 4 dias consecutivos da semana, tal como apresentado na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Produção diária (07-10 de janeiro de 2013) na Nave de Contínuo

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Contínuo					
Produção (u.m.)	Dia				Média Diária
	07/01	08/01	09/01	10/01	
Solo	25	0	204	204	108

Através da tabela 4.5 é possível observar a “instabilidade” na produção do forno Solo, visto que há dias em que a produção é nula ou mesmo bastante baixa, e outros em que a produção já é significativa e ronda as 204 u.m..

## 4.2 - Consumo Específico: Consumo Energético vs Produção

A análise dos custos que cada equipamento tem com o consumo de energia é bastante importante, mas é necessário verificar se essa energia está a ser usada na produção efetiva de trabalho útil, ou seja, transformada em ganho monetário.

Nesta secção será efetuada uma análise aos fornos (pois são os responsáveis efetivos pelo tratamento de aço) a nível do custo por unidade de massa (u.m.) de aço tratado.

Os custos associados aos equipamentos são calculados de forma bastante simples: o consumo medido em cada equipamento é multiplicado pelo custo da u.e., a qual foi calculada sem ter em conta os períodos tarifários (Vazio Normal, Super Vazio, Ponta e Cheia).

A partir da fatura de energia elétrica de janeiro de 2013 fornecida pela empresa, a divisão do total a pagar pelo número total das u.e. consumidas no conjunto de todos os períodos, deu origem ao “custo unitário” da u.e. utilizada para estimar os custos.

Desta operação resultou um custo da u.e. de 0,115 u.c./u.e.. Este valor é a base de custo de energia pois é o único disponível no momento de tratamento dos dados a seguir apresentados.

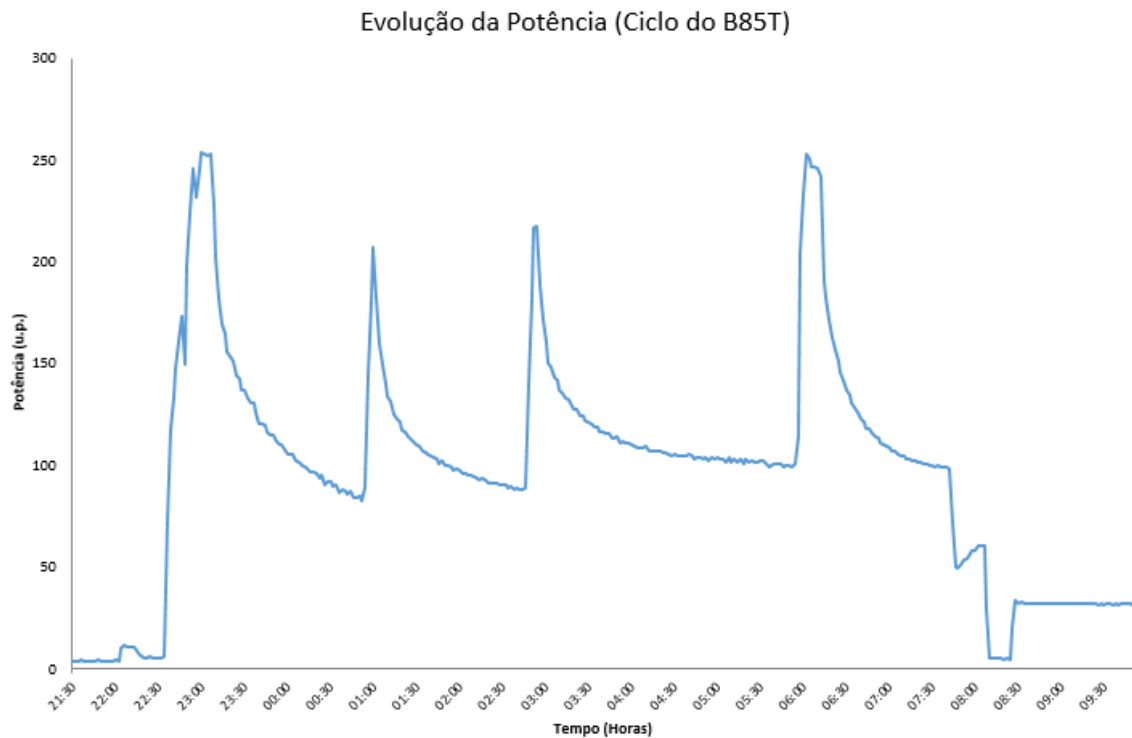
**Tabela 4.6** - Médias diárias de consumo e produção na Nave de Vácuo

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Vácuo		
Designação do Forno	Consumo Médio Diário (u.e.)	Produção Média Diária (u.m.)
B85T	1.877	1.059
B56RN	787	690
B74T	796	616
B84T-1	815	430
B84T-2	815	464
B74R	388	730
B54RN	388	1.032
B54RI	388	726
B54R	388	20
B55RN	864	1.727

Pela análise da tabela 4.6, é possível ter uma noção dos custos associados aos fornos. O forno B85T pelo seu consumo médio diário de energia elevado, apresenta-se como o forno com maiores custos semanais, rondando as 1.500 u.c.as quais representam o dobro do segundo forno com maiores custos associados, o forno B55RN.

Os restantes fornos têm custos associados que vão desde as 600 u.c. sem nunca chegar às 700 u.c.. De referir que os custos aqui tratados, são apenas custos associados à energia elétrica consumida, não incluindo valores associados a mão de obra ou manutenção dos mesmos. Assim sendo, é de esperar que os fornos mais dispendiosos sejam efetivamente aqueles que mais energia elétrica consomem.

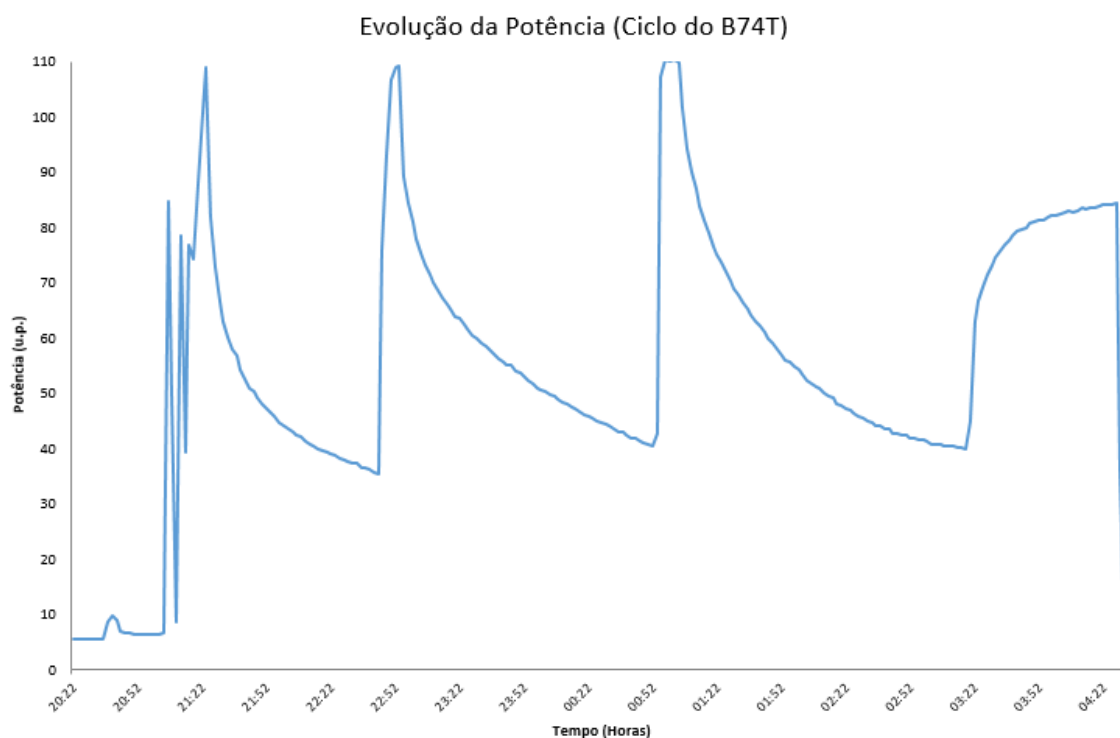
De seguida são apresentados alguns gráficos que podem explicar um pouco o nível de consumo efetuado por alguns dos fornos da Nave de Vácuo.



**Gráfico 4.9** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B85T

No gráfico 4.9 é possível observar a evolução da potência durante um ciclo completo do forno B85T. O ciclo em questão tem uma duração de 12 horas e a carga estimada é de 900 u.m..

A sua análise permite perceber a razão de este ser o forno com o maior consumo médio. De facto, durante o processo de tratamento de aço, a potência atinge picos bastante consideráveis (a rondar as 250 u.p.), sendo que durante o ciclo poucos são os momentos em que baixa das 100 u.p.. A energia consumida durante este processo pode ser calculada através da área contida abaixo do gráfico 4.9, obtendo um valor aproximado de 1.200 u.e..

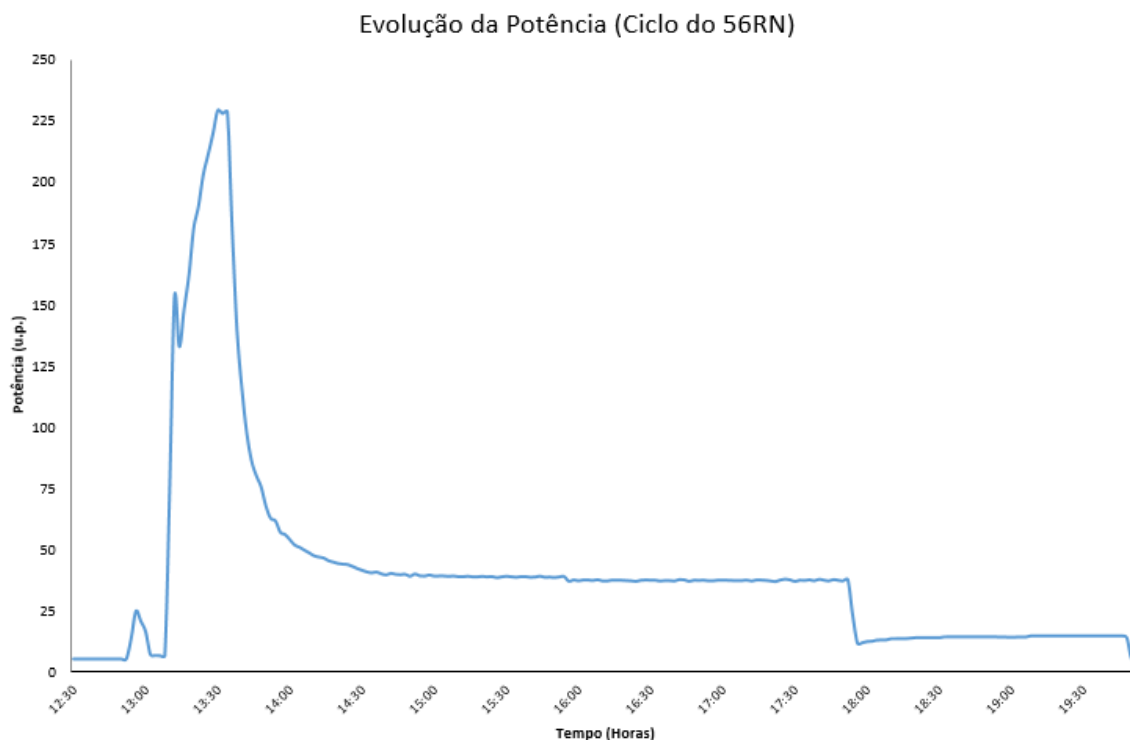


**Gráfico 4.10** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B74T

Ao contrário do que acontece com o forno B85T, no forno B74T os picos existentes não vão para além das 110 u.p., o que por si só é motivo para que o consumo energético seja bastante inferior. A carga associada a este ciclo é de aproximadamente 500 u.m.. Referir também que, para além deste facto, o tempo de duração deste ciclo é inferior ao verificado no forno B85T, rondando as 8 horas.

Comparativamente ao gráfico 4.9, o consumo inferior não será uma surpresa, pois a potência mínima entre picos durante o ciclo do forno B85T (aproximadamente 100 u.p.) é bastante semelhante ao pico máximo que acontece durante o ciclo do B74T.

Calculando a área contida abaixo do gráfico 4.10 obtém-se um valor para a energia consumida de 453 u.e., o que vem confirmar o menor consumo energético do forno B74T.



**Gráfico 4.11** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B56RN

Por sua vez, o consumo médio diário do forno B56RN assemelha-se bastante ao do forno B74T, embora os seus gráficos de evolução de potência sejam um pouco diferentes. Esta diferença deve-se ao facto de os fornos em questão serem responsáveis por diferentes tratamentos térmicos. O ciclo apresentado tem uma duração de 7 horas e a carga presente no forno é estimada em cerca de 350 u.m..

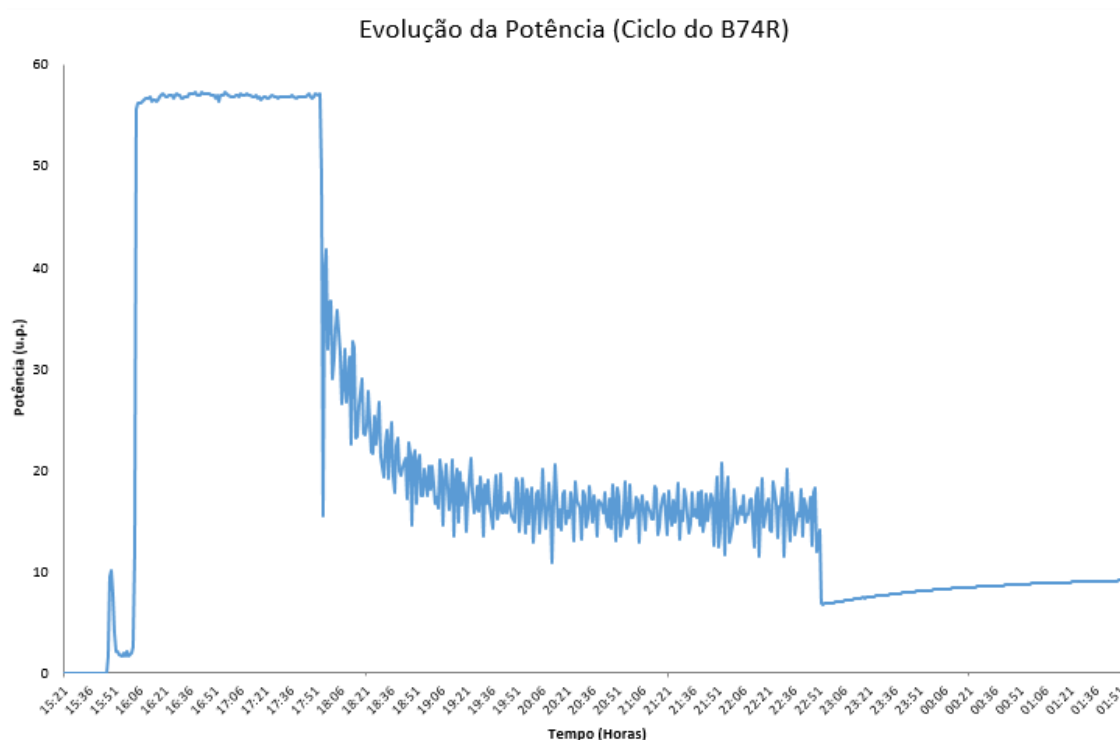
O gráfico 4.11 mostra que a evolução da potência no ciclo do forno B56RN contém apenas um pico mais pronunciado, o qual atinge valores próximos das 250 u.p., ao passo que no restante período ronda as 50 u.p..

Tal como nos casos anteriores, o cálculo da área abaixo do gráfico de evolução da potência consumida durante o ciclo do forno B56RN (gráfico 4.11), resulta num valor de energia consumida de aproximadamente 304 u.e.. Analogamente ao caso do forno B74T, este valor é 150 u.e. inferior, logo menos dispendioso.

Por último, na análise aos consumos dos diferentes fornos, temos o gráfico de um ciclo pertencente ao forno B74R, o qual é responsável por efetuar tratamentos térmicos de revenido.

O maior pico de potência durante todo o ciclo aproxima-se das 60 u.p., nunca atingindo esse valor. No restante tempo em que o ciclo se desenrola, a potência consumida vai sempre decaindo e estabiliza por volta das 15/20 u.p.. O consumo de energia por ciclo deste forno ronda as 429 u.e..

Salienta-se o facto de que o consumo médio diário estimado para os restantes fornos no capítulo 3 poderá não ser o mais correto, visto que o consumo de energia calculado para este ciclo é superior à média diária encontrada. Como já foi referido, esse consumo era apenas uma estimativa, pois não existiam dados concretos para confirmar o seu valor, surgindo a necessidade de realizar uma estimativa tendo por base a semelhança de fornos.



**Gráfico 4.12** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B74R

A tabela 4.7 resume os valores encontrados para o consumo de energia efetuado pelos fornos estudados comprovando algumas das afirmações efetuadas.

**Tabela 4.7** - Consumo de energia por ciclo de tratamento térmico em fornos da Nave de Vácuo

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Vácuo	
Designação do Forno	Consumo de Energia por Ciclo (u.e.)
B85T	1.200
B74T	453
B56RN	304
B74R	428

Realizando agora uma análise envolvendo os consumos e produções, é possível verificar que há fornos menos eficientes, porque gastam mais recursos energéticos produzindo menos quando comparados com outros fornos.

Um exemplo evidente desta situação são os fornos com maiores custos na Nave de Vácuo, isto é, o forno B85T e o forno B55RN. Na tabela 4.6 é possível verificar que, embora o primeiro tenha uma média de consumo diária superior ao segundo, o forno B55RN tem um nível de produção bastante superior que ronda as 1.700 u.m..

Os fornos B84T-1 e B84T-2 estão bastante próximos em todos os campos. Dos três fornos que apresentavam comportamento semelhante no sector de têmpera, apenas o B74T se apresenta com um consumo ligeiramente inferior, sendo a produção maior.

No sector de revenido ocorre uma situação bastante particular, pois os consumos dos fornos presentes foram estimados, podendo existir erros consideráveis. Embora haja esta possibilidade, e mais uma vez pela análise da tabela 4.6 é possível concluir que há uma disparidade imensa nas produções, ainda que os seus consumos sejam semelhantes.

Os fornos B74R e B54RI estão equilibrados enquanto o forno B54RN já possui uma produção um pouco maior (cerca de 300 u.m.). O forno B54R não pode ser considerado nesta análise, uma vez que não é exemplificativo do seu funcionamento na altura em que foi realizada a auditoria energética, porque se encontrava avariado como já tinha sido feita referência na secção 4.1.1.

**Tabela 4.8** - Custos associados aos equipamentos presentes na Nave de Vácuo

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Vácuo	
Designação do Forno	Custos Associados à Produção (u.c./u.m.)
B85T	0,204
B56RN	0,131
B74T	0,149
B84T-1	0,218
B84T-2	0,202
B74R	0,061
B54RN	0,043
B54RI	0,061
B54R	2,23
B55RN	0,058

Tendo em conta a informação anteriormente apresentada, e pela observação da tabela 4.8, a primeira conclusão que pode ser retirada é que o forno B54R tem de ser excluído da análise devido aos problemas já mencionados.

Nos fornos responsáveis pela realização de tratamentos de têmpera, é possível afirmar que há dois fornos que são bastante dispendiosos, sendo eles os fornos B84T-1 e B84T-2. Estes possuem um custo por unidade de massa de aço tratado que é semelhante ao do forno B85T, apesar de possuírem uma produção média diária bastante inferior.

Por outro lado, os fornos B56RN e B74T alcançam uma produção superior aos dois equipamentos anteriormente mencionados, com um consumo médio diário aproximado. Assim sendo, entre o conjunto B56RN e B74T e o conjunto B84T-1 e B84T-2, o segundo apresenta-se novamente como o pior caso.

Analisando agora o que se passa na Nave de Atmosfera Controlada, e recorrendo à tabela 4.9, é possível afirmar que o processo de tratamento térmico tem bastante influência no consumo e custo médio semanal, ou seja, apesar da produção média diária ser equivalente, os tratamentos efetuados em cada forno, provocam variações no custo médio semanal.

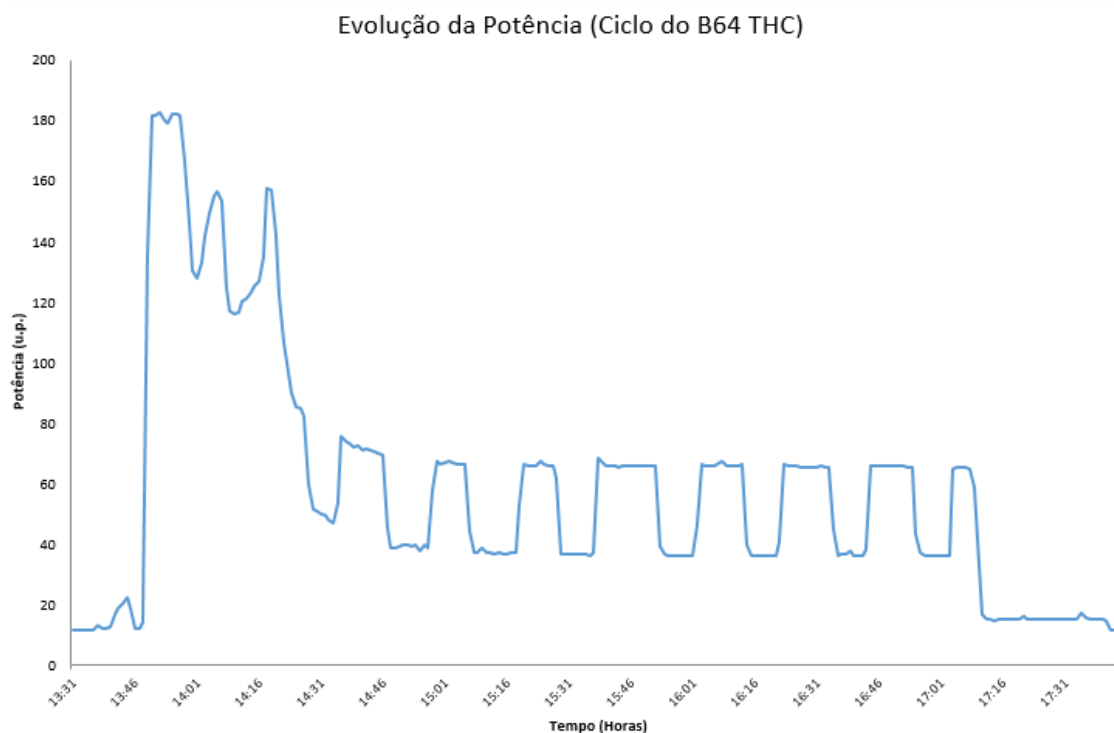
**Tabela 4.9** - Média semanal de custo e produção média diária na Nave de Atmosfera Controlada

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Atmosfera Controlada		
Designação do Forno	Custo Médio Semanal (u.c.)	Produção Média Diária (u.m.)
KOS	640,8	308
FCA	127,2	396
B64 THC	952,3	323

Nos gráficos 4.13 a 4.15, é possível verificar a variação da potência consumida durante um ciclo de cada um dos fornos, sendo esta a razão da variação do custo médio semanal referido acima.

O forno B64 THC é o que mais consome, pois a evolução do seu ciclo de potência leva a que este atinja valores bastante elevados (cerca de 180 u.p.) e, em grande parte do tempo, alterne o seu consumo entre os 40 e os 70 u.p., tendo uma potência em *stand by* superior a 10 u.p..

O tempo do ciclo deste equipamento ronda as 4 horas e a carga presente no processo de tratamento térmico em questão aproxima-se das 120 u.m..



**Gráfico 4.13** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno B64THC



O forno KOS é o segundo mais gastador, sendo que o pico máximo atingido pelo mesmo é de 75 u.p.. O seu consumo raramente baixa das 30 u.p., verificando-se durante o processo, imensos picos no seu consumo.

Para além do referido acima, comparativamente com o ciclo do forno B64 THC, um ciclo deste forno ronda as 5,5 horas, ou seja, 1,5h superior. No entanto, possui uma evolução da potência média inferior durante grande parte do processo.

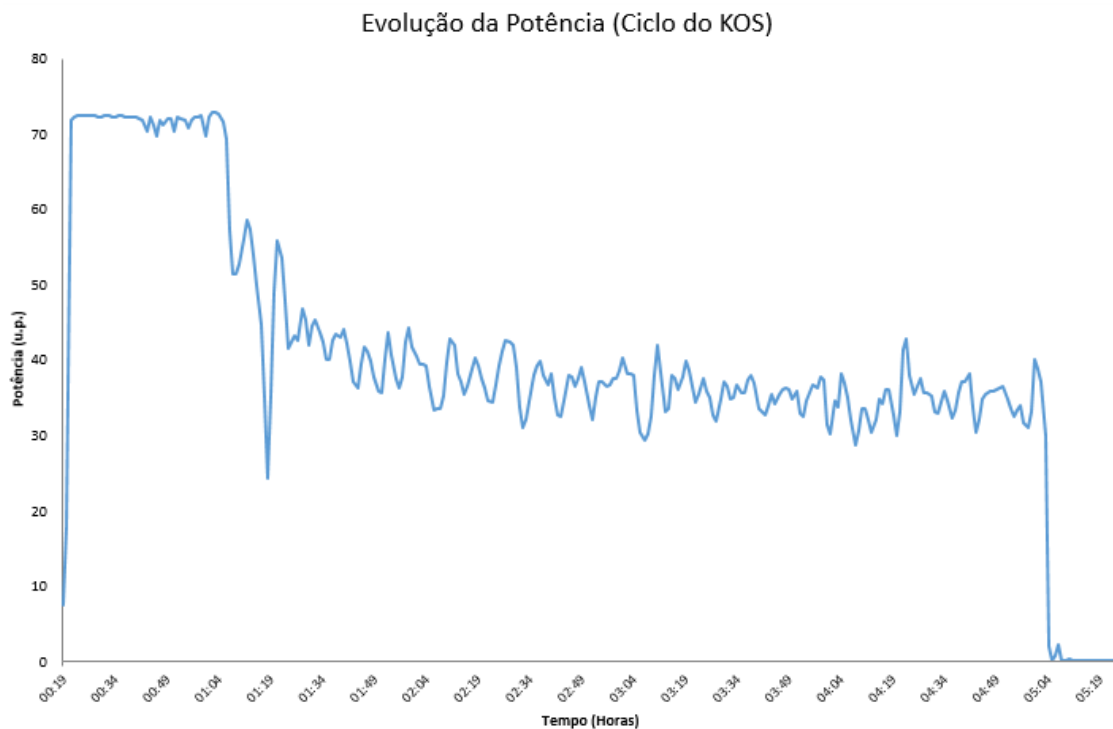
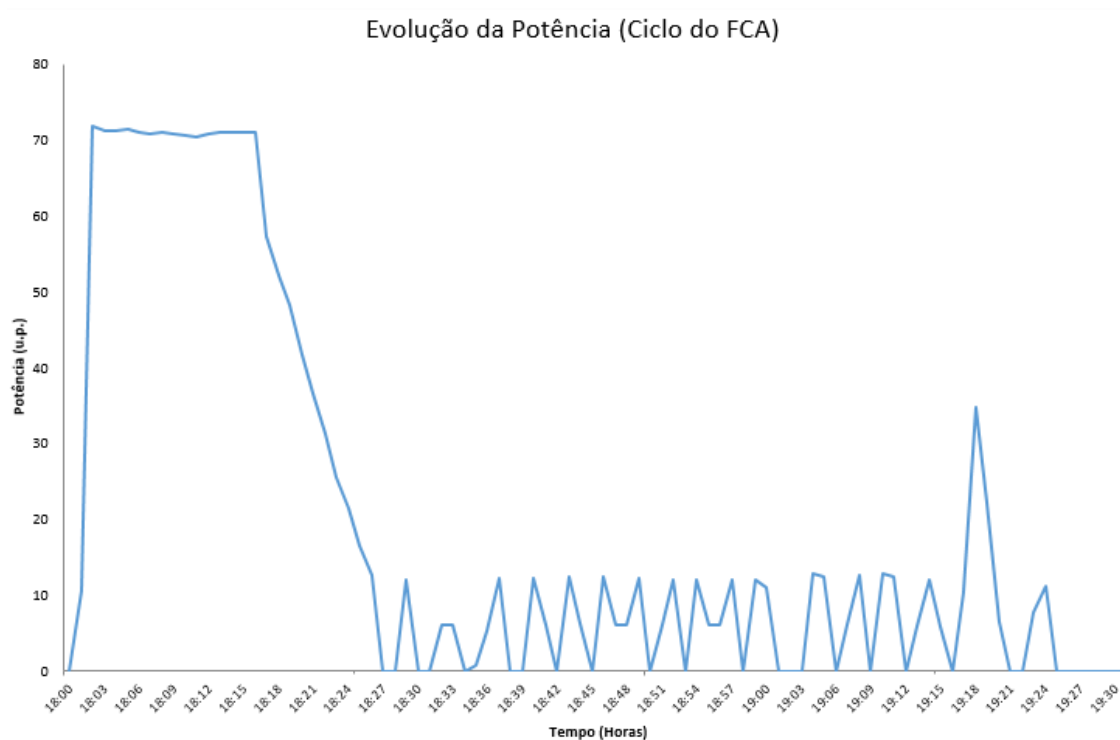


Gráfico 4.14 - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno KOS

O forno FCA é o menos gastador, pois embora o pico atingido durante o processo seja equivalente ao forno KOS, no restante tempo a potência do forno não ultrapassa as 20 u.p.. Quando comparado com os restantes fornos que não baixavam dos 30 u.p., este apresenta uma potência média durante o ciclo de 10 u.p.. Dizer ainda que, este forno é dos três aquele em que o tempo de tratamento térmico é inferior, rondando 1,5 horas.



**Gráfico 4.15** - Evolução da potência consumida durante um ciclo no forno FCA

**Tabela 4.10** - Custos associados aos equipamentos presentes na Nave de Atmosfera Controlada

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Atmosfera Controlada	
Designação do Forno	Custos Associados à Produção (u.c./u.m.)
KOS	0,297
FCA	0,046
B64 THC	0,421

Naturalmente, as considerações anteriormente realizadas refletem-se na tabela 4.10. O forno FCA é o que mais “lucro” dá pois é o que acarreta menores custos para um nível de produção um pouco maior ao verificado nos restantes. No intermédio está o forno KOS, sendo o forno B64 THC aquele que mais despesa traz para a Nave de Atmosfera Controlada.

A tabela 4.11 mostra os valores calculados para o consumo de energia efetuado pelos fornos acima estudados e que podem comprovar algumas das afirmações efetuadas.

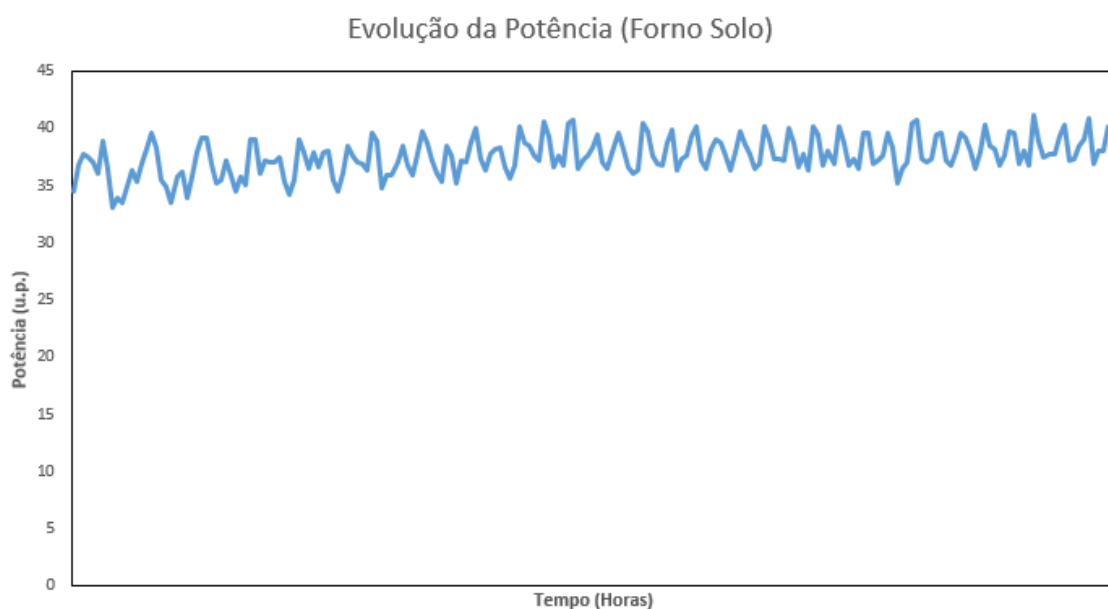
**Tabela 4.11** - Consumo de energia por ciclo de tratamento térmico em fornos da Nave de Atmosfera Controlada

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Atmosfera Controlada	
Designação do Forno	Consumo de Energia por Ciclo (u.e.)
B64THC	495
KOS	428
FCA	60

Finalmente, é analisada a Nave de Contínuo onde foi apenas estudado o comportamento do forno Solo. Como é possível observar na tabela 4.12, este apresenta-se como o forno cujo custo por unidade de massa de aço tratado é superior, quando comparado com os restantes fornos da secção de Tratamentos Térmicos. A quantidade de energia que este forno necessita para tratar uma unidade de massa de aço é assombrosa, daí o valor elevado apresentado na tabela 4.12.

**Tabela 4.12** - Custos associados aos equipamentos presentes na Nave de Contínuo

Secção de Tratamentos Térmicos -Nave de Contínuo	
Designação do Forno	Custos Associados à Produção (u.c./u.m.)
Solo	1,025

**Gráfico 4.16** - Evolução da potência consumida no forno Solo durante o seu período de *stand by*

Os valores apresentados estão bastante relacionados, mais uma vez, com o modo de funcionamento do forno. Embora este não esteja em funcionamento constante, nunca é desligado. É possível observar no gráfico 4.16 a evolução da potência do forno Solo durante

um período de tempo em que se encontra em *stand by*, onde a média da potência verificada está entre as 35 e as 40 u.p..

Deste modo, facilmente se conclui que os valores elevados de consumo apresentados por este forno durante o período de *stand by* são resultado da necessidade do mesmo manter a temperatura entre patamares pré estabelecidos, de modo a estar preparado a qualquer momento para retomar a sua plena atividade.

### 4.3 - Custos de Produção

Numa empresa da dimensão da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A., os custos associados à operação dos diversos equipamentos são a grande parte dos gastos da mesma. Posto isto, é necessário ter em conta a correta gestão dos recursos disponíveis e procurar uma contenção nos gastos.

A secção de Tratamentos Térmicos, devido ao trabalho lá realizado e à natureza dos seus equipamentos, possui gastos que são maioritariamente elétricos, pois todos os fornos funcionam com energia elétrica bem como as duas máquinas de lavar presentes nas instalações.

Assim sendo, nesta secção do capítulo 4 serão apenas abordados os custos associados ao consumo de energia elétrica por parte dos equipamentos presentes na secção de Tratamentos Térmicos. Outros custos, como por exemplo aqueles associados à manutenção e mão-de-obra, não farão parte desta análise.

Salientar que, para o cálculo dos custos anuais estimados apresentados nas tabelas presentes nas secções 4.3.1., 4.3.2., e 4.3.3. foi multiplicado o custo médio semanal pelo número de semanas que constituem o ano.

Apesar da redução dos trabalhos na empresa nos meses de agosto e dezembro, os quais correspondem às férias de verão bem como às festividades de Natal e Ano Novo, esta labora todo o ano, e por isso foram utilizadas no estudo realizado para efeitos de cálculo as 52 semanas que constituem o ano.

#### 4.3.1 - Custos da Nave de Vácuo

Utilizando o custo da unidade de energia estimado, na tabela 4.13 estão presentes os custos médios semanais e os custos anuais associados a cada equipamento da Nave de Vácuo. Estes valores foram obtidos com recurso aos consumos apresentados no capítulo 3, sendo que os custos anuais foram conseguidos multiplicando o custo semanal pelo número de semanas que constituem o ano.

**Tabela 4.13** - Custos associados ao consumo de energia elétrica pelos equipamentos presentes na Nave de Vácuo

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Vácuo		
Designação do Forno	Custo Médio Semanal (u.c.)	Custo Anual Estimado (u.c.)
B85T	1.511,0	78.571
B56RN	633,5	32.944
B74T	640,8	33.321
B84T-1, B84T-2	656,1	34.116
B74R, B54RN, B54RI, B54R	312,3	16.242
B55RN	695,5	36.167

Referir ainda que na Nave de Vácuo se encontra a máquina de lavar vácuo e, de acordo com o consumo médio referido no capítulo 3, esta tem um custo aproximado que, no final de um ano, equivale a cerca de 30.000 u.c..

Nos equipamentos presentes na Nave de Vácuo, temos ainda a torre de refrigeração e também a bombagem. Mais uma vez, de acordo com os consumos médios diários apresentados no capítulo 3, estes dois equipamentos têm um custo médio anual de:

- Torre de refrigeração - 7.000 u.c.
- Bombagem - 13.000 u.c.

À semelhança do que seria esperado, o comportamento do custo destes dois equipamentos é equiparável ao comportamento do seu consumo, sendo que o custo anual da bombagem é perto do dobro do custo anual da torre de refrigeração.

#### 4.3.2 - Custos da Nave de Atmosfera Controlada

Uma vez mais, utilizando o custo da unidade de energia estimado, na tabela 4.14 apresentam-se os custos médios semanais associados ao forno KOS, FCA e B64 THC.

**Tabela 4.14** - Custos associados ao consumo de energia elétrica pelos equipamentos presentes na Nave de Atmosfera Controlada

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Atmosfera Controlada		
Designação do Forno	Custo Médio Semanal (u.c.)	Custo Anual Estimado (u.c.)
KOS	640,8	33.321
FCA	127,2	6.613
B64 THC	956,3	49.520

Da análise da tabela 4.14 e do gráfico 4.17, conclui-se que o forno com maior custo associado é o B64 THC (cerca de 55% do total), seguido do forno KOS e, com um custo semanal bastante reduzido (aproximadamente 10% do total), está o forno FCA.

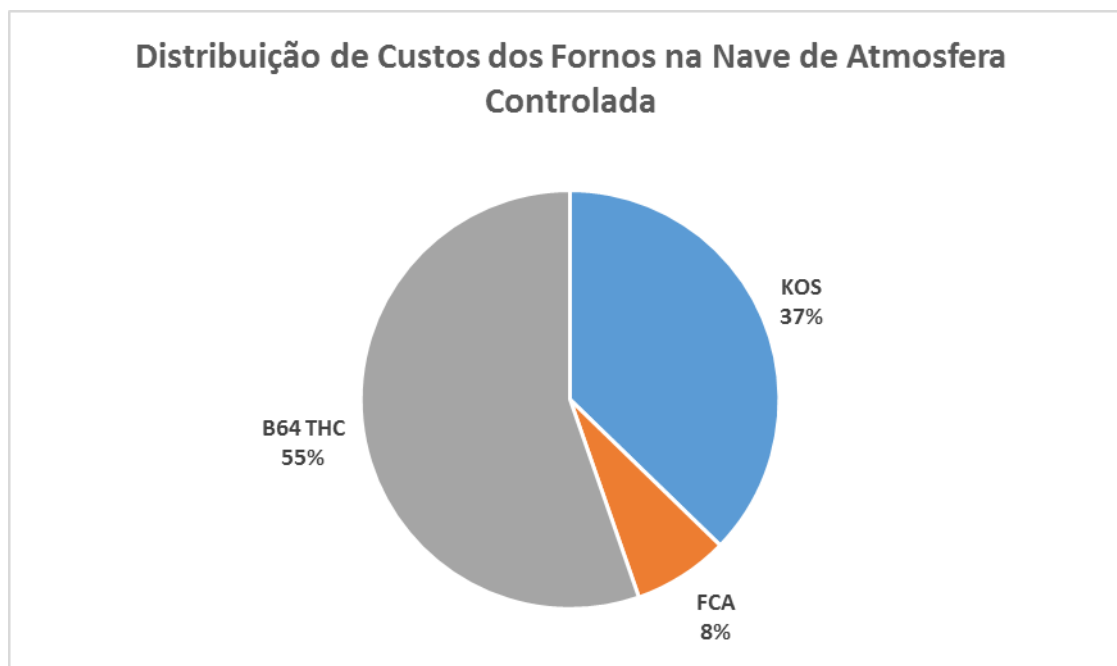


Gráfico 4.17 - Distribuição de custos na Nave de Atmosfera Controlada

À semelhança da Nave de Vácuo, na Nave de Atmosfera Controlada está também presente uma máquina de lavar, a máquina de lavar atmosfera controlada. Quando comparada com a máquina de lavar vácuo, esta tem uma média semanal de consumo inferior, o que leva a que o seu custo anual seja também inferior, cerca de 3.700 u.c..

#### 4.3.3 - Custos da Nave de Contínuo

Como mencionado anteriormente, apesar de na Nave de Contínuo estarem presentes vários equipamentos, apenas o forno Solo se encontra em utilização e, por isso, os custos desta nave serão correspondentes aos custos desse forno.

Na secção 4.1.3., foi mencionado que a produção é bastante reduzida, logo poder-se-ia pensar que os custos com o forno Solo seriam baixos, mas tal pode não ser totalmente correto. Ao arranque e paragem do forno Solo está associado um intervalo de tempo, que muitas vezes, devido à urgência de ter o aço tratado e despachar as encomendas, não pode existir. Assim sendo, e de modo a estar sempre pronto para iniciar os trabalhos, este necessita de estar em *stand by* a uma dada temperatura (normalmente 650 °C) sendo esta situação que leva à maior parte dos gastos de energia e consequentemente custos associados a este forno. Posto isto, é fulcral obter os custos associados aos diferentes estados de operação (tabela 4.15).

**Tabela 4.15** - Custos médios semanais e custos anuais estimados do forno Solo para os seus estados de funcionamento

Secção de Tratamentos Térmicos - Nave de Contínuo		
Estado de Funcionamento	Custo Médio Semanal (u.c.)	Custo Anual Estimado (u.c.)
Em Trabalho	775	40.300
Em Stand By	724,5	37.674

Seria de esperar que houvesse uma diferença mais significativa no custo anual do forno Solo devido à redução significativa de temperatura entre os dois estados (900°C para 650°C). Contudo, a poupança obtida pela redução da temperatura ronda apenas as 3.000 u.c. nesse espaço de tempo.

A poupança obtida devido à redução da temperatura em quase 300°C entre os dois estados não é significativa, pois a quantidade de energia necessária para manter o forno a 650°C, quando comparada com a quantidade de energia necessária para o manter a 900°C, difere de poucas unidades de energia.

## 4.4 - Considerações Finais

A produção na secção de Tratamentos Térmicos da empresa desenvolve-se muito à semelhança do que acontece com os consumos que foram alvo de estudo no capítulo anterior.

Com um volume de produção bastante elevado, a Nave de Vácuo é, mais uma vez, a que contribuiu para o grosso da produção total. Claro que tal não é de estranhar, visto que esta é a nave que possui mais fornos e, portanto, a oportunidade de produzir mais que as restantes naves.

No sentido de conhecer melhor a distribuição da produção, seria interessante conseguir fazer uma desagregação do volume total da produção da secção de Tratamentos Térmicos por tipo de tratamento térmicos nas naves, mas tal não é possível. Esta impossibilidade acontece, pois há tratamentos aplicados ao aço que são realizados na Nave de Atmosfera Controlada bem como na Nave de Contínuo, sendo então impossível nos registos conseguir distinguir onde foi efetuado o tratamento.

Na produção monitorizada durante o período relativo à auditoria energética, a Nave de Vácuo foi a responsável por cerca de 90% da produção, sendo que a Nave de Atmosfera Controlada possuía grande parte da restante. A Nave de Contínuo quando comparada com as demais tem uma produção estimada em 1% da produção total.

A análise mais profunda da Nave de Vácuo mostrou que, da parte do sector de têmpera, é o forno B85T o responsável por cerca de um terço da produção, enquanto no sector de revenido, o forno B55RN é aquele que mais produz, próximo dos 45% do total dos tratamentos de revenido realizados.

Na Nave de Atmosfera Controlada as produções estão bastantes distribuídas, sendo que cada um dos fornos tem associado cerca de um terço da produção total da nave. A produção da Nave de Contínuo foi estimada tendo em conta as produções em alguns dos dias da auditoria energética realizada, a qual foi estimada numa média diária de 108 u.m..

Os custos da secção de Tratamentos Térmicos da empresa refletem o consumo de energia elétrica analisado no capítulo 3. O seu cálculo apenas foi realizado multiplicando o consumo pelo custo da unidade de energia.

Sem sombra de dúvida, o forno que mais custos energéticos tem na Nave de Vácuo é o forno B85T. Na Nave de Atmosfera Controlada destaca-se o B64THC como o mais gastador.

A Nave de Contínuo é um caso bastante particular, já que os resultados apresentados apenas podem ser melhorados caso exista uma melhoria na eficiência energética no forno Solo, o que é bastante difícil pois este possui bastante zonas abertas por onde o calor se pode dissipar.

Não esquecer nas naves de Vácuo e Atmosfera Controlada os equipamentos que não são fornos, visto que também estes possuem custos relevantes na instalação. Com efeito, se forem somados todos os custos energéticos associados à torre de refrigeração, à bombagem e às duas máquinas de lavar, este custo totaliza cerca de 50.000 u.c. anuais.

Quanto aos fornos, a análise conjunta dos consumos e produções mostrou que há fornos cuja utilização é mais vantajosa que outros. Na Nave de Vácuo, os fornos B85T, B84T-1 e B84T-2 apresentam-se como os mais dispendiosos, porque a sua produção é baixa e o consumo de energia elétrica é elevado.

Na Nave de Atmosfera Controlada existem os dois extremos. Tendo em conta que as produções são semelhantes, há um forno bastante dispendioso, o forno B64THC e um forno bastante económico, o forno FCA. Isto acontece devido à evolução dos ciclos de potência e o consumo de energia elétrica durante os mesmos.

Por fim, embora não se possa retirar um custo de produção associado às máquinas de lavar, é importante realizar um estudo a cada uma delas, pois segundo informações disponibilizadas pela empresa, e em conjunto com os seus consumos retirados da auditoria energética, a máquina de lavar vácuo trabalha com menor regularidade que a máquina de lavar atmosfera controlada sendo o seu consumo superior, e consequentemente leva a que os seus custos sejam também eles superiores.



## Capítulo 5

# Medidas de Gestão Energética

Neste capítulo, pretende-se propor medidas de gestão energética de modo a conseguir reduzir os consumos efetuados pelos diversos equipamentos da secção de Tratamentos Térmicos, sendo que as medidas apresentadas incluem medidas que surgiram de propostas efetuadas pela empresa.

Serão então apresentadas medidas específicas para o trabalho desenvolvido na secção de Tratamentos Térmicos da empresa, as quais serão analisadas de forma individual e com algum cuidado a fim de tentar perceber se a sua aplicação será benéfica para a instalação.

Medidas aplicáveis à generalidade das indústrias são também referidas. Embora estas não tenham um impacto imediato nos custos de operação, a longo prazo podem representar melhorias efetivas no desempenho de toda a instalação.

### 5.1 - Enquadramento

O desenvolvimento (principalmente industrial) que se tem sentido ao longo dos últimos anos levou a um aumento considerável de gases de efeitos de estufa, muito devido à emissão de dióxido de carbono, o que conduziu à deterioração da camada de ozono bem como ao aquecimento global. As preocupações relacionadas com estes tópicos levou a que fossem implementadas medidas e normas (protocolo de Quioto) referentes ao controlo dos níveis de emissão de gases de efeitos de estufa, por forma a travar o aquecimento global.

A otimização energética de equipamentos cuja fonte principal é a energia elétrica tem, no presente, assumido bastante importância no que aos custos associados à exploração e funcionamento dos equipamentos diz respeito. O aumento galopante das necessidades energéticas mundiais e a escassez de fontes fósseis provocam aumentos consideráveis nos custos de aquisição de energia elétrica. Assim sendo, a busca por uma gestão otimizada da energia é uma opção bastante presente nos dias que hoje correm.

Num processo de tratamento térmico não são apenas aquecidos os materiais onde são efetuadas as modificações estruturais. De facto, para além destes, também os elementos responsáveis pelo aquecimento e todo o interior do forno é aquecido, resultando numa quantidade exorbitante de energia que não é diretamente aplicada no material tratado [13].

O aumento do custo da energia elétrica fomenta a realização de estudos onde são procuradas medidas no sentido de maximizar o rendimento global de todo o processo. Existem aspetos a considerar na projeção de um forno a vácuo que podem ter bastante influência no seu desempenho tal como:

- O *design* do equipamento de modo a maximizar as transferências de calor;
- A otimização dos processos através da utilização correta do calor produzido por forma a diminuir as perdas caloríficas.

Estas perdas podem ser evitadas através de um bom isolamento, e também com o uso de boas bases de suporte do aço que não consumam demasiada energia calorífica no processo de aquecimento. Verifica-se ainda a necessidade de criar um nível correto de vácuo durante todo o processo de tratamento térmico.

O aquecimento e manutenção da temperatura durante o ciclo, consome tanta mais energia quanto maior for o volume da câmara do forno onde será realizado o tratamento, e quanto maior for a carga a tratar. De modo a maximizar a energia utilizada, todas as peças são reduzidas no seu tamanho sem nunca comprometer a sua estabilidade e tempo de vida útil. É utilizado maioritariamente isolamento em grafite, pois este é mais resistente a altas temperaturas [13].

Por vezes é aplicada uma camada isoladora mais espessa na carcaça do forno a fim de melhorar as características de isolamento térmico. Com isto, consegue-se diminuir a quantidade de energia que não é útil no tratamento térmico, mas que pode trazer outros problemas que serão tratados à frente. Estima-se que a redução é cerca de 15%.

O processo de arrefecimento inclui não só o material a ser tratado, mas também todo o interior do forno, bem como os elementos responsáveis pelo aquecimento. Neste processo, para além da pressão e velocidade do gás, é importante que a distribuição do gás responsável pelo arrefecimento seja homogénea de modo a garantir uma boa distribuição do mesmo pela câmara do forno.

A importância de uma boa escolha de um tamanho adequado da câmara do forno é bastante importante, visto que quanto maior for o seu volume, maior será a energia necessária para realizar o seu aquecimento, tal como é perceptível na figura 5.1. Assim sendo, a escolha adequada do forno tendo em conta as necessidades de tratamento é um ponto fulcral do ponto de vista da gestão energética.

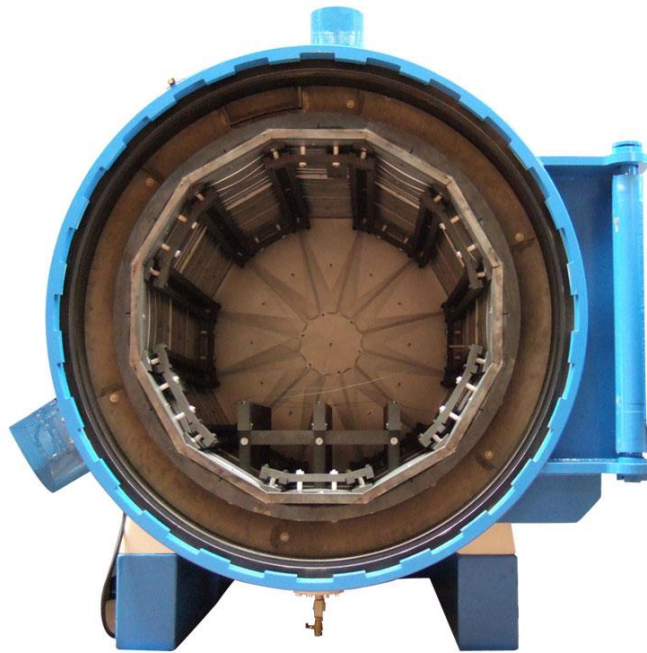


Figura 5.1 - Vista da câmara do forno B85T da B.M.I. Fours Industriels [14]

## 5.2 - Medidas Propostas

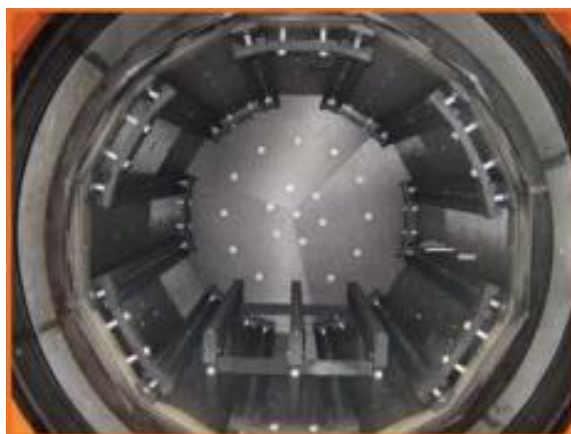
Esta secção do capítulo 5 tem como objetivo a apresentação de medidas de gestão energética que possam ser aplicáveis às instalações da secção de Tratamentos Térmicos da empresa.

As medidas das subsecções 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3 e 5.3.4 vêm no seguimento de sugestões apresentadas pela empresa, cuja viabilidade de aplicação exige estudo e discussão técnica.

### 5.2.1 - Substituição de Resistências em Fornos

Uma das primeiras medidas que é sugerida neste capítulo é a substituição de resistências que se encontram nos fornos. Estas resistências servem para elevar ou manter o forno à temperatura desejada segundo cada processo aplicado.

As resistências em causa são compostas por grafite extrudido (figura 5.2), sendo que o objetivo é verificar se a mudança para grafite isostático, não traria vantagens a nível do consumo de energia elétrica [2].



**Figura 5.2** - Vista interior do forno B8\_T onde podem ser observados os elementos responsáveis pelo aquecimento [15]

Do ponto de vista da gestão energética, interessa conhecer a sua resistividade, de modo a conhecer a potência que cada tipo de resistência consome. Segundo a *Mersen*, as resistências de grafite extrudido possuem uma resistividade menor que a de grafite isostático [16]. Enquanto as primeiras possuem uma resistividade de 8  $\Omega\cdot\text{cm}$ , as resistências de grafite (isostático), pelas quais se está a equacionar a substituição, possuem resistividade de 17  $\Omega\cdot\text{cm}$  [2].

Assim sendo, é necessário calcular qual o consumo de cada um dos tipos das resistências em estudo, e verificar se a sua substituição traz vantagens. Num primeiro momento, será calculada a potência consumida por cada tipo de resistências em termos instantâneos com recurso às fórmulas 5.1 e 5.2. Associando a potência a um espaço temporal de 24 horas obtém-se a energia térmica produzida em kWh por dia, tal como demonstrado nas relações 5.3 e 5.4.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (5.1)$$

$$E = P \times \Delta t \quad (5.2)$$

$$P(8) = \frac{U^2}{R} = \frac{230^2}{8} = 6.612,5 \text{ W} \rightarrow 6,6 \text{ kW} \rightarrow E(8) = 158,4 \text{ kWh/dia} \quad (5.3)$$

$$P(17) = \frac{U^2}{R} = \frac{230^2}{17} = 3.111,8 \text{ W} \rightarrow 3,1 \text{ kW} \rightarrow E(17) = 74,4 \text{ kWh/dia} \quad (5.4)$$

Da análise aos resultados das equações, facilmente se conclui que, de facto, a substituição das resistências vai levar a uma redução da potência consumida. Porém, verifica-se também uma diminuição da energia térmica produzida, o que não satisfaz as necessidades caloríficas necessárias à realização dos processos térmicos. Assim sendo, a redução do consumo obtido com a introdução de resistências de grafite com resistividade superior tem um efeito adverso: se por um lado o consumo energético diminui, por outro lado a produção de calor também diminui.

$$Q = 0,23 \times I^2 \times R \times \Delta t \quad (5.5)$$

$$Q (8) = 0,23 \times \left(\frac{230}{8}\right)^2 \times 8 \times 24 = 36.501 \text{ W.h} \quad (5.6)$$

$$Q (17) = 0,23 \times \left(\frac{230}{17}\right)^2 \times 17 \times 24 = 17.176 \text{ W.h} \quad (5.7)$$

De facto, pela análise das equações 5.6 e 5.7, é possível verificar que a resistência de grafite isostático (resistividade maior) fornece uma menor quantidade de calor.

Visto que a quantidade de energia necessária para a conclusão eficiente do processo de tratamento térmico é sempre a mesma, pela equação 5.2 é possível tirar duas conclusões. Para a mesma quantidade de energia produzida:

- A redução da potência das resistências provoca um aumento do tempo do processo;
- O aumento da potência fornecida pelas resistências causa uma diminuição do tempo do processo;



**Figura 5.3** - Vista interior do forno B5\_R onde podem ser observados os elementos responsáveis pelo aquecimento [16]

De acordo com informações cedidas pela empresa, o tempo de duração dos processos de tratamento térmico não podem ser alterados, logo a substituição das resistências não é uma medida viável, pois a quantidade de energia necessária tem de ser mantida e a substituição das resistências provocaria um aumento ou diminuição dessa mesma quantidade de energia.

No entanto, é possível efetuar uma otimização do processo através da modificação das resistências aplicadas no tratamento em função da carga que se encontra no forno. Esta medida implica que o forno esteja preparado para efetuar o controlo das resistências por escalões, isto é, ser possível ligar uma dada quantidade de resistência adequada à carga presente no seu interior, em detrimento da aplicação de todas as unidades.

Por exemplo, pretende-se que num forno cuja quantidade de aço a ser tratado seja metade da sua capacidade de carga nominal, ligar apenas metade das resistências, pois o requisito de energia depende da carga aplicada. Admitindo o mesmo tempo de tratamento térmico (que como visto anteriormente não pode ser mexido), diminuir-se-ia a potência fornecida pelas resistências, levando assim a poupanças energéticas significativas.

O caso ideal passaria por um cenário onde todos os fornos fossem dotados de vários escalões de resistência e de dispositivos de medição da quantidade de carga presente no seu interior, a fim de adaptar a potência fornecida às necessidades do ciclo, mantendo os requisitos de calor necessários ao processo.

### 5.2.2 - Substituição de Isolamento

A perda de calor num forno elétrico pode ser uma das maiores causas de gastos energéticos, e, portanto, um dos maiores problemas durante o seu funcionamento. Com o passar do tempo é usual que o isolamento dos fornos se deteriore gradualmente, levando a um maior consumo de energia para compensar as perdas de calor. Assim sendo, por vezes assiste-se a manutenções periódicas no isolamento de um forno por forma a manter os níveis de eficiência recomendados.

A busca por um isolamento capaz de evitar transferências excessivas de calor para o exterior, garantindo assim maiores poupanças de energia, é uma das principais razões para intervenções na estrutura do mesmo.

A medida que aqui vai ser discutida visa a substituição do isolamento constituído por fibra e molibdénio [2] por um isolamento constituído unicamente por CFC. Na figura 5.4 é apresentado um exemplo de um conjunto de isolamentos em molibdénio que poderiam ser aplicados ao interior de um forno a vácuo, enquanto na figura 5.5 apresenta-se um isolamento em CFC.



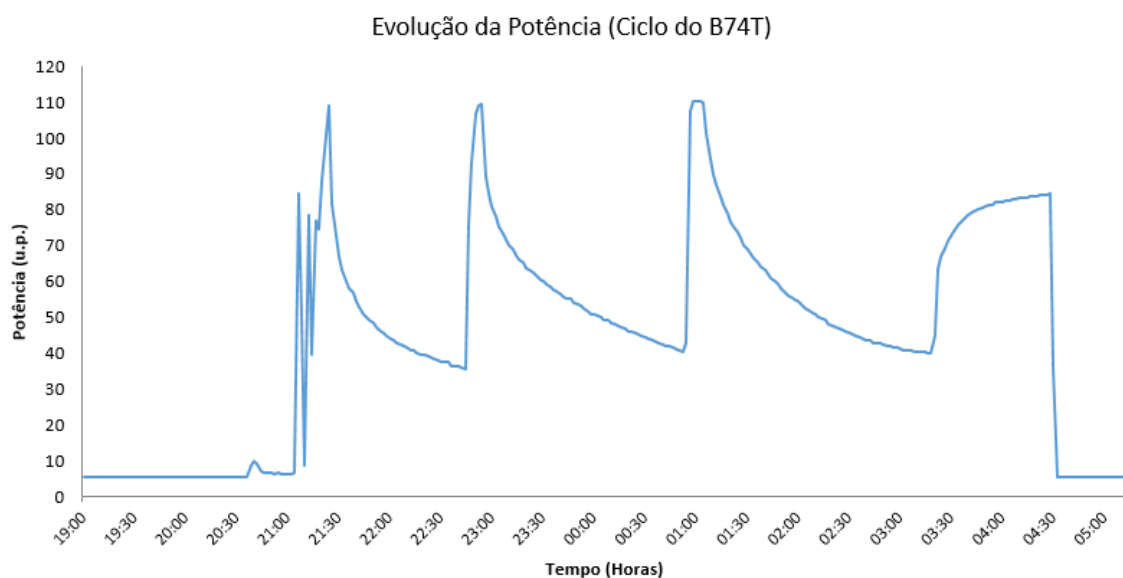
**Figura 5.4** - Isolamentos em molibdénio aplicáveis ao interior de um forno a vácuo [18]



**Figura 5.5** - Isolamento em CFC aplicável ao interior de um forno a vácuo [19]

Segundo informações cedidas pela empresa, após consulta de várias soluções, a melhor alternativa apresentada refere que a substituição de isolamento no interior dos fornos provoca uma poupança que ronda os 33% sobre 50% do consumo do forno na sua fase de aquecimento e estágio. Os números apresentados têm em conta a utilização de bons materiais de fibra de carbono.

Como exemplo vai ser apresentado um pequeno estudo tendo por base o forno B74T e o seu ciclo de trabalho. Assim sendo, na figura 5.6 temos a evolução da potência consumida ao longo do ciclo.



**Figura 5.6** - Evolução da potência consumida durante um ciclo do B74T

Após conhecimento dos ciclos dos fornos, em especial do forno B74T, é possível afirmar que a sua fase de aquecimento começa por volta das 21h, sendo seguida de uma fase de

estágio que termina por volta das 03h:20m, onde são ligadas as bombas de vácuo para auxiliar o arrefecimento das peças. Recorrendo aos dados resultantes da auditoria energética e admitindo como base o período de tempo em estudo, é possível afirmar que durante o mesmo o forno teve um consumo que ronda as 355 u.e.

Se for aplicado o estudo acima mencionado, a poupança conseguida com a substituição do isolamento do forno rondará as 59 u.e., isto porque 50% do consumo durante o período é 178 u.e das quais 33% serão poupadas.

Na tabela 5.1 é apresentado o estudo referente ao período de retorno do investimento correspondente ao forno em questão.

**Tabela 5.1** - Estudo à poupança efetuada em caso de substituição do isolamento

Substituição do Isolamento			
Nº de Ciclos	Poupança Anual (u.c.)	Custo do Isolamento (u.c.)	Período de Retorno do Investimento (Anos)
2	4.953	25.000	5
2,5	6.191		4
3	7.430		3,4

É necessário salientar o facto que este estudo é realizado tendo em vista o número de ciclos que o forno B74T realiza ao longo de um dia de trabalho. Uma vez que este número é variável, há a necessidade de realizar um estudo para os diferentes cenários.

Também é necessário referir que o custo de isolamento apresentado é um custo estimado em função das dimensões do forno onde será instalado, logo o estudo terá sempre uma margem de erro associada.

A existência de um isolamento superior leva a que a necessidade energética para manter o forno a uma dada temperatura seja menor. Não obstante, realçam-se dois aspetos relativos ao processo em si:

- No aquecimento, as variações de temperatura no material serão mais rápidas devido ao calor que já se encontra presente no meio, porque não é necessário produzir tanto calor;
- Já no período de arrefecimento assiste-se à imposição de extrair o calor de uma forma mais rápida.

Os dois aspetos referidos acima podem ser bastante significativos no processo de tratamento do aço, visto que cada tipo de tratamento tem a sua temporização para no final este ser concluído com sucesso.

O isolamento é algo que, como foi visto anteriormente, é bastante caro e por isso é necessário ter cautela quando se decide efetuar a sua substituição. Há uma experiência bastante simples que pode ser realizada de modo a tentar perceber o estado atual do isolamento do forno, a qual consiste em colocar um sensor de temperatura no interior do forno e comparar a temperatura obtida na superfície exterior do forno com a temperatura ambiente onde o forno se encontra. Um isolamento correto produz uma temperatura na superfície exterior do forno aproximada da temperatura ambiente. Se a diferença de



temperatura for bastante significativa, conclui-se que o isolamento do forno contém imperfeições, sendo necessário intervir de modo a evitar as perdas energéticas.

Por fim, a pretensão na mudança de isolamento não se deve apenas à procura de limitação dos gastos energéticos. A escolha na utilização de isolamento em fibra de carbono em detrimento de fibra cerâmica está também relacionada com um problema conhecido na mesma: a humidade [20].

A fibra de cerâmica à semelhança da fibra de carbono é um excelente isolador, mas tem a grande desvantagem de absorver humidade o que, não interferindo diretamente com o seu poder de isolamento, acarreta problemas relacionados com as bombas de vácuo.

A criação de uma atmosfera de vácuo dentro no forno é um processo exigente para as bombas, e a existência de humidade vai provocar um acréscimo no esforço por parte das mesmas, o que pode culminar na sua avaria, paragem dos fornos e consequente quebra de produção. Em casos extremos pode haver inclusivamente a necessidade de substituição da bomba de vácuo.

No fundo, a ideia principal prende-se com o facto de ao substituir o isolamento existente, esta passe pela solução que se apresenta como a mais eficiente. Neste momento, essa solução é a que passa pela utilização de isolamento composto por fibra de carbono e não, por exemplo, isolamento de grafite onde as espessuras de revestimento sejam superiores acarretando também maiores custos.

### 5.2.3 - Substituição de Bases

Os tratamentos térmicos de aço envolvem um conjunto de operações que, se otimizadas, vão conduzir a uma melhoria energética de todo processo. Uma dessas operações é a acomodação do aço no interior do forno.

A maximização do calor produzido pelas resistências produz uma disposição ótima do material no interior do forno. Não obstante, essa maximização pode ser feita, não apenas tendo em conta a disposição, mas também o material das bases onde o aço é colocado [21].

Uma proposta de eficiência energética e maximização do calor produzido passa pela utilização de bases no interior do forno cujas necessidades caloríficas durante o aquecimento sejam reduzidas. Desta forma, o calor produzido será aproveitado, em grande parte, para a produção real de trabalho, isto é, tratamento térmico do aço em vez de ser desperdiçado no aquecimento das bases que, por si só, não contribuem para a produção de trabalho.

Com recurso à equação 5.8, é possível calcular de forma teórica e aproximada, a energia (sob a forma de calor) que as bases iriam necessitar para atingir uma dada temperatura. Todos os cálculos foram efetuados tendo em conta o documento da Toyo Tanso fornecido pela empresa.

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (5.8)$$

De acordo com informações cedidas pela empresa, as atuais bases presentes no interior dos fornos da secção de Tratamentos Térmicos são de aço ( $c = 460 \text{ (J/kg.K)}$ ) e pesam cerca de 120 kg. As bases fornecidas pela Toyo Tanso serão de carbono ( $c = 720 \text{ (J/kg.K)}$ ) e o seu peso será cerca de um décimo do peso das de aço.

Segundo a equação 5.8, e considerando o aquecimento do forno até aos  $1000^\circ\text{C}$  bem como os dados do documento da Toyo Tanso:

$$Q(120Kg \text{ to } 1.000^{\circ}C) = 120 \times 460 \times 1.000 = 55.200.000 J \rightarrow 15,33 kWh \quad (5.9)$$

$$Q(12Kg \text{ to } 1.000^{\circ}C) = 12 \times 720 \times 1.000 = 8.640.000 J \rightarrow 2,4 kWh \quad (5.10)$$

A razão entre os valores encontrados em 5.9 e 5.10, permite perceber qual a poupança adquirida com a troca de bases de aço para carbono:

$$Ratio \text{ de Poupança} = \frac{15,33}{2,4} = 6,3875 \quad (5.11)$$

A equação 5.11 mostra que a poupança, no que às bases de carbono diz respeito, é cerca de seis vezes mais quando comparada com os gastos das bases de aço. Assim sendo, esta troca é uma mais-valia quando o objetivo é a eficiência/poupança energética.

Tabela 5.2 - Estudo à poupança efetuada em caso de substituição de bases

Substituição de Bases			
Nº de Ciclos	Poupança Anual (u.c.)	Custo das Bases (u.c.)	Período de Retorno do Investimento (Anos)
2	1.085,47	17.000	15,7
2,5	1.356,84		12,5
3	1.628,21		10,4

A tabela 5.2 permite perceber as implicações que a substituição das bases tem a nível energético bem como monetário.

De referir que a poupança energética que se obtém da substituição das bases de aço para bases de carbono não é a única vantagem que advém da utilização das mesmas. A redução do peso para cerca de 10% do peso inicial é outra das grandes vantagens, diminuindo os esforços no interior do forno e facilitando o manuseamento das bases caso haja essa necessidade [21].

A frequência de utilização das bases de aço faz com que, após um dado período (entre 6 meses a 1 ano), devido ao uso e também às temperaturas a que estão expostas, comecem a aparecer deformações e fraturas em certos locais, tal como se pode verificar na figura 5.7. O uso de bases de carbono permite evitar estes problemas, já que não ocorre nenhuma deformação. Deste modo, o período de vida das bases de carbono vai ser superior.



**Figura 5.7** - Exemplo de uma base em aço (seta de cima) e de uma base de carbono (seta de baixo) [21]

Por vezes existe a necessidade de tratar aços a temperaturas mais elevadas e, visto que as bases de aço começam a perder as suas capacidades ficando mais dúcteis, é necessário utilizar bases que suportem temperaturas mais elevadas, sendo que as bases de carbono o conseguem fazer. Há também a possibilidade de aumentar a capacidade de carga, uma vez que estas bases suportam um peso superior como consequência da maior resistência mecânica [21].

Porém, a aplicação de bases de carbono também apresenta desvantagens, nomeadamente no investimento inicial bastante elevado. Quando comparado com as bases de aço, este é bastante superior, logo a sua utilização tem de ser bem estudada. Contudo, este investimento inicial pode ser recuperado, pois como mencionado atrás, registam-se ganhos significativos com a redução do consumo de energia durante o aquecimento, bem como uma resistência mecânica superior capaz de alargar os períodos de vida útil.

É necessário ter precauções no seu manuseamento, visto que um manuseamento incorreto das mesmas faz com que o seu ciclo de vida seja reduzido, isto porque o seu coeficiente de fricção é alto, causando um grande desgaste na peça. A reação com elementos químicos é também uma possibilidade, logo é necessário ter em atenção os tratamentos térmicos que serão realizados de modo a perceber se não existe qualquer inconveniente.

Bastante importante também referir que as bases de carbono possuem a facilidade de produção em termos de *design*. Assim, podem ser fabricadas bases adequadas ao tipo de peças que se quer tratar.

A sua aquisição é então de considerar não como substituição imediata das bases antigas, mas sim quando o tempo de vida das bases de aço for ultrapassado e estas se começarem a degradar.

### 5.2.4 - Seleção de Novas Bombas de Vácuo

A secção de Tratamentos Térmicos da empresa possui um conjunto de fornos destinados a realizar tratamentos térmicos onde o vácuo é a atmosfera escolhida de modo a conferir aos aços as propriedades desejadas. Assim sendo, é necessário que a cada forno estejam associados equipamentos que produzam o vácuo adequado ao tratamento térmico a realizar.

As bombas de vácuo, como o próprio indica, são bombas responsáveis pela criação do vácuo necessário aos processos de tratamento térmico. Salientar que este é criado com recurso a duas bombas:

- Bomba Seca (Principal) - responsável pela criação do vácuo durante todo o processo. A bomba tem como função a manutenção do vácuo entre os níveis necessários;
- Bomba Roots (Auxiliar) - elemento cujo trabalho realizado acontece em vários momentos durante os diversos ciclos dos fornos. A sua função principal é auxiliar no grande volume de vácuo a ser produzido, mas também na inserção/expulsão de gases do interior dos fornos quando estes assim o exigam.

As bombas secas utilizadas nas instalações da empresa são o modelo Screwline SP250 da Leybold (figura 5.8) e o modelo Edwards GXS250 (figura 5.9).

O estudo é realizado tendo em conta apenas as bombas primárias de vácuo, visto que são estas que estão em constante funcionamento, levando a que o seu tempo de vida útil seja significativamente reduzido quando comparados com as bombas roots, cujo funcionamento durante o processo de tratamento térmico é menor.



Figura 5.8 - Bomba seca Leybold Screwline SP250 [22]



Figura 5.9 - Bomba seca Edwards GXS250 [25]

A utilização das bombas Edwards GXS250 começou a ser equacionada pois o seu consumo, quando comparado com as bombas Leybold Screwline SP250, apresenta-se inferior para o mesmo volume de trabalho.

De acordo com as fichas técnicas das bombas utilizadas disponibilizadas nos respetivos *websites* dos fabricantes, e como pode ser verificado pelas figuras 5.10 e 5.11, considerando um funcionamento à frequência de 50 Hz, a bomba Leybold Screwline SP250 tem um pico de bombagem que ronda os 270 m<sup>3</sup>/h, enquanto na bomba Edwards GXS250 o pico é 250 m<sup>3</sup>/h.

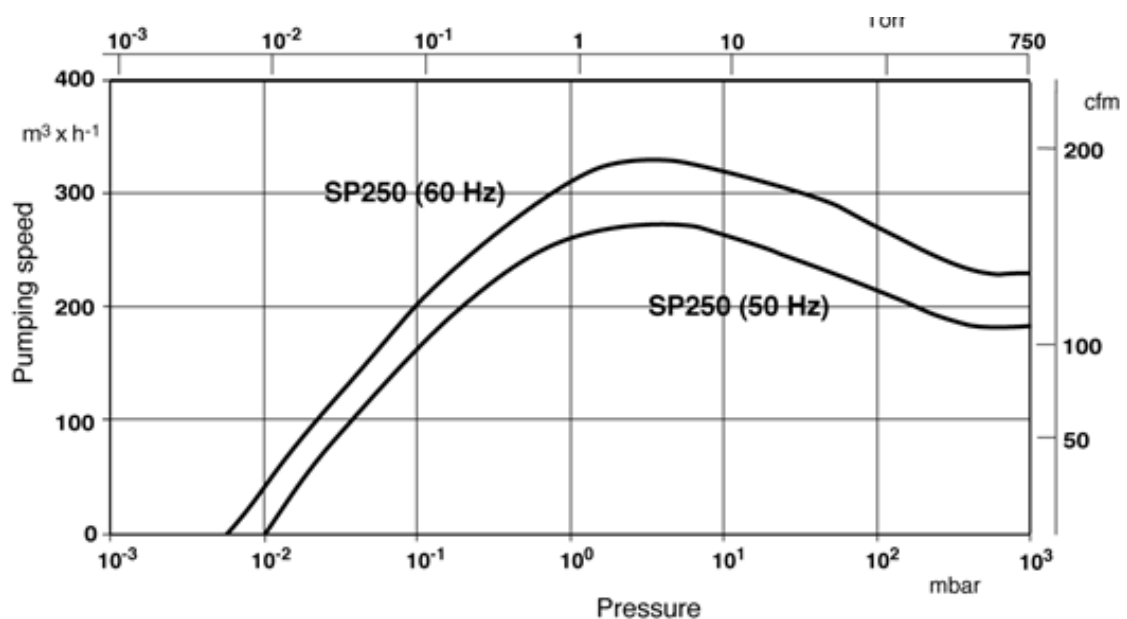


Figura 5.10 - Característica de bombagem da bomba Leybold Screwline SP250 [22]

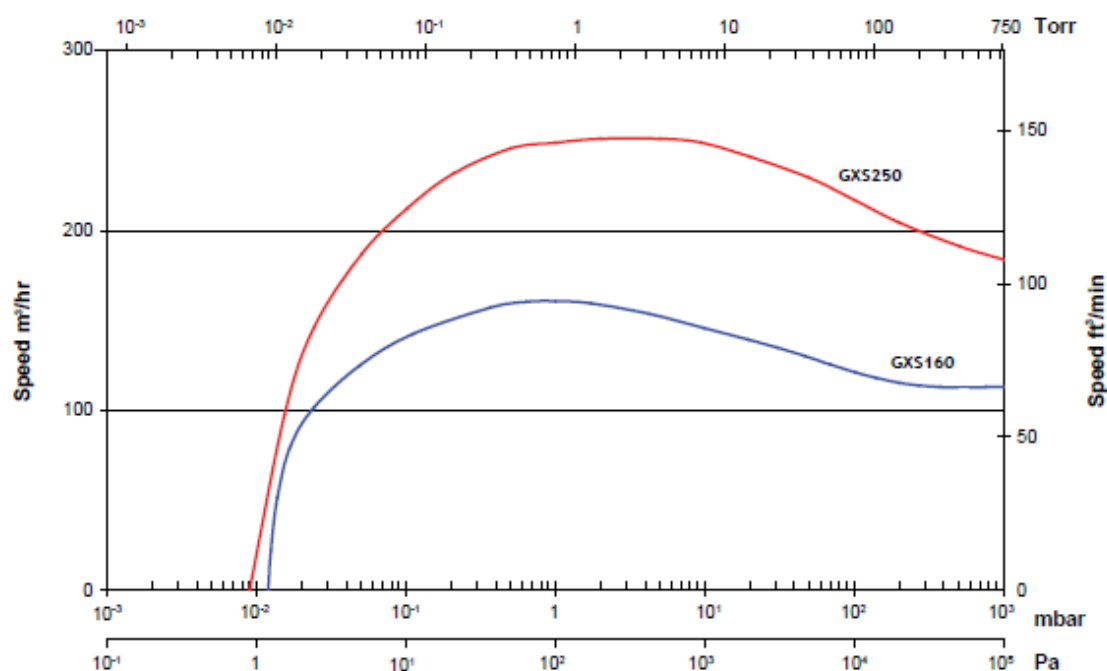


Figura 5.11 - Característica de bombagem da bomba Edwards GX5250 [23]

De acordo com informações fornecidas pela empresa, as bombas de vácuo nunca se encontram à sua capacidade máxima de bombagem e, assim sendo, não há qualquer interesse na utilização da bomba Leybold Screwline SP250 apesar de esta oferecer um pouco mais de capacidade de bombagem.

A diferença no pico de bombagem tem também um comportamento semelhante no que toca ao consumo das duas bombas. Mais uma vez, e segundo as fichas técnicas, a bomba Leybold Screwline SP250 tem uma potência nominal de 7,5 kW (consumo de 5,9kW) enquanto o consumo da bomba Edwards GX5250 é de 4 kW.

Tendo em conta os dados referidos acima, e considerando que as bombas utilizadas são as mesmas (visto que a sua capacidade de produzir vácuo é semelhante), bem como a parte mecânica seja igual nos dois casos, é possível afirmar que o motor da bomba Screwline SP250 se encontra sobredimensionado.

A bomba Screwline SP250 teria interesse reforçado se o binário de arranque fosse importante, o que não é o caso, pois as bombas primárias encontram-se em funcionamento constante.

Tomando o custo da unidade de energia anteriormente calculado, é possível realizar um estudo de modo a perceber qual a poupança que se obterá pela substituição das bombas de vácuo. Na tabela seguinte apresentam-se alguns valores referentes a esse mesmo estudo.

Tabela 5.3 - Estudo à poupança efetuada em caso de substituição das bombas de vácuo

Seleção de Novas Bombas de Vácuo					
Bomba	Consumo (kW)	Consumo Diário (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)	Poupança (€)
SP 250	5,9	141,6	51.684	5.943,66	1.914,06
GXS 250	4	96	35.040	4.029,60	

A bomba Edwards GXS250 é uma alternativa viável caso o nível de ruído seja uma preocupação, pois esta apresenta um ruído inferior quando comparada com a Leybold Screwline SP250. A primeira possui um nível de ruído inferior a 64 dB enquanto na última, o nível é de 67 dB.

No que ao peso diz respeito, a Edwards pesa menos cerca de 150 kg que a Leybold. É necessário ter em atenção o ambiente em que as bombas vão estar inseridas porque os seus níveis de proteção são diferentes. A bomba Leybold possui um nível de proteção bastante superior à bomba Edwards sendo a desta IP 31 contra IP55.

A observação da tabela 5.3 permite concluir que a utilização da bomba Edwards GXS250 em detrimento da Leybold Screwline SP250 leva a uma poupança anual na ordem dos 1.914 €. Segundo informações dadas pela empresa, a bomba Edwards GXS250 tem um custo unitário que ronda os 30.000 € o que, calculando o tempo de retorno do investimento, faz com que o período de retorno de investimento seja aproximadamente 16 anos. Tendo em conta que o seu período de vida é de 20 a 25 anos, a substituição de bombas é uma alternativa que necessita de ser ponderada.

### 5.2.5 - Instalação de Variadores de Velocidade

Os variadores eletrónicos de velocidade (VEV's), também conhecidos por inversores de frequência (conversores de frequência), têm como principal objetivo controlar/variá-la a velocidade de rotação dos motores elétricos.

A velocidade dos motores elétricos depende da frequência e também do número de pólos. Na equação 5.12 é possível observar a relação entre as diferentes grandezas. Verifica-se que a velocidade do motor (rotações por minuto) é proporcional à frequência do mesmo e inversamente proporcional ao número de pares de pólos que o constituem.

$$n_0 = 60 \frac{f}{p} \quad (5.12)$$

Onde  $n_0$  são as rotações por minuto do motor,  $f$  é a frequência e  $p$  é o número de pares de pólos.

Existem diversas formas de aplicação dos VEV's, mas as mais recorrentes destinam-se ao ajuste de velocidade de acionamento aos requisitos do processo, ajuste do binário de acionamento e a que será posta em ênfase neste estudo, a economia de energia e aumento da eficiência [24].

Os VEV's podem ser encontrados num sem número de equipamentos, como por exemplo elevadores, escadas rolantes, ventilação, bombas, máquinas de lavar industriais, compressores de ar, máquinas de lavar, entre muitos outros.

A sua aplicação a motores elétricos trazem vantagens como [25]:

- Poupanças de energia com um valor médio de 20% a 25 %, ou até mesmo atingir valores mais elevados, significando economias monetárias consideráveis;
- Arranque mais suave, reduzindo assim os choques mecânicos a que estes estão sujeitos, o que se traduz num aumento do seu tempo médio de vida;
- A melhoria do fator de potência, pois leva a uma diminuição do consumo de energia reativa;
- Aperfeiçoamento e melhoria na qualidade do produto/serviço final prestado.

Embora os VEV's tragam bastantes vantagens, a sua aplicação com sucesso depende do tipo de carga onde este é aplicado, visto que existem cargas cuja propensão para a poupança energética é maior. Existem três tipos diferentes de carga [24]:

1. Carga de potência constante;
2. Carga de binário constante;
3. Carga de binário variável.

No primeiro caso, como pode ser observado na figura 5.12, a potência requisitada é a mesma durante todo o período de tempo, sendo que o binário varia inversamente com a velocidade. Desta forma, a figura 5.12 mostra que a poupança energética que este tipo de carga oferece é bastante reduzida a velocidades baixas.

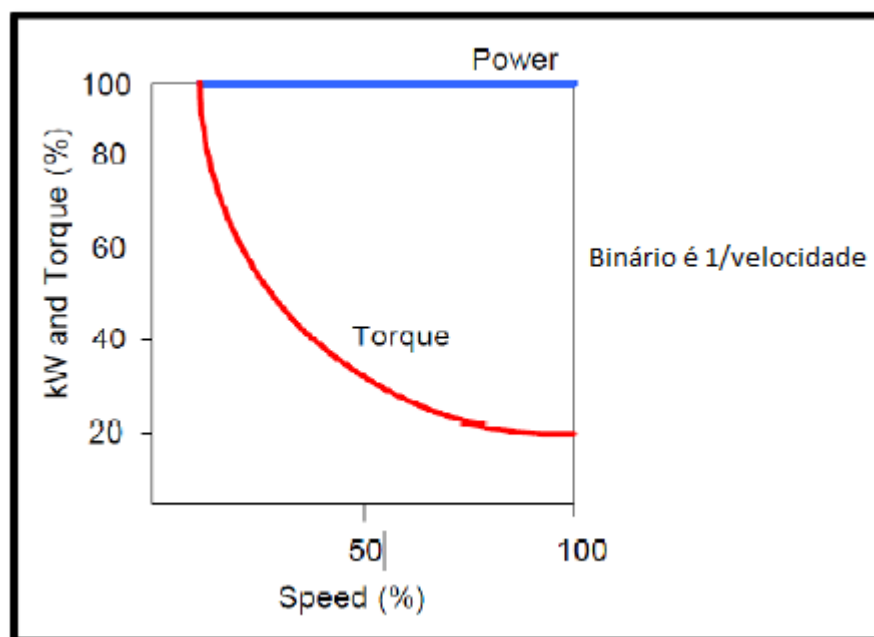


Figura 5.12 - Curvas características de cargas de potência constante [24]

No segundo caso, a carga onde é aplicado o VEV possui um binário constante fazendo com que a potência seja diretamente proporcional à velocidade como pode ser visto na figura 5.13. Ao contrário do que acontecia anteriormente, a baixas velocidades a poupança já é considerável.



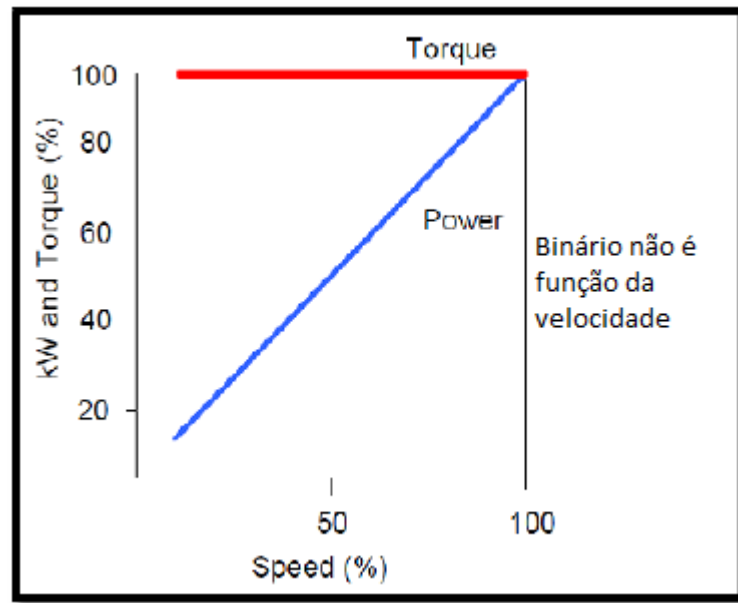


Figura 5.13 - Curvas características de carga de binário constante [24]

O último caso apresenta-se como aquele que traz mais vantagens quando há poupança energética em jogo. É possível retirar da figura 5.14 que o binário e a potência variam com a velocidade, sendo que o primeiro é função do quadrado da velocidade e o último do cubo da velocidade.

A figura 5.14 mostra que a potência solicitada pelo motor a 50% da velocidade é cerca de 1/8 da potência requisitada à velocidade máxima.

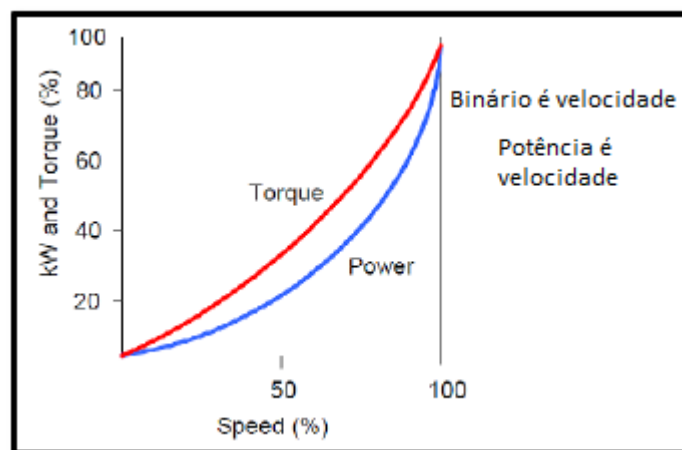
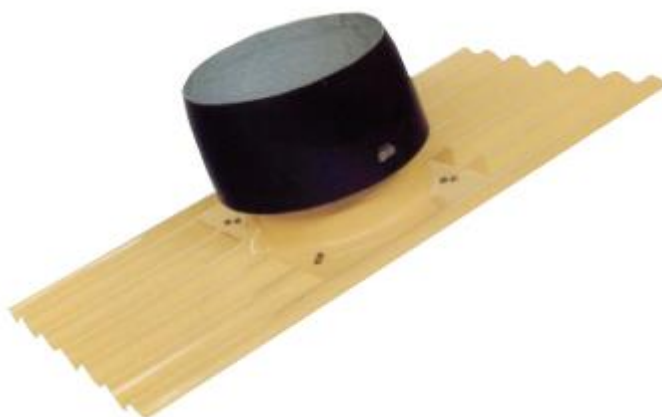


Figura 5.14 - Curvas características de carga de binário variável [24]

A utilização de VEV's neste tipo de cargas trazem economias de energia bastante significativas. Uma pequena variação na velocidade de rotação do motor pode significar uma poupança energética considerável.

A empresa tem um conjunto de ventiladores instalados na secção de Tratamentos Térmicos e pode beneficiar com a instalação de variadores eletrónicos de velocidade.

Os ventiladores instalados na secção de Tratamentos Térmicos são da Efaflu que se trata de uma empresa portuguesa especializada em bombas, sistemas de bombagem e ventiladores. A solução adotada está representada na figura 5.15 e trata-se da gama VAT que é a utilizada na extração de ar em naves industriais através da substituição de uma telha pelo ventilador.



**Figura 5.15** - Ventiladores axiais de telhado (VAT) instalados [26]

A escolha surgiu de duas opções possíveis na gama em questão, onde a única diferença residia no número de pólos do motor que poderiam ser 4 ou 6. A opção passou pela escolha do modelo com 6 pólos - VAT 603/6. Este possui um caudal de extração de 9650 m<sup>3</sup>/h, sendo que entre os dois modelos é o que apresenta menor consumo. [26]

A tabela 5.4 mostra, tendo por base os dados apresentados, o estudo da poupança que se iria obter caso fossem instalados variadores de velocidade.

Referir que o motor do ventilador axial de telhado escolhido tem um rendimento estimado que ronda os 2/3, o que com a potência nominal do motor indicada na ficha técnica (0,25 kW), leva a um consumo aproximado de 0,33 kW.

**Tabela 5.4** - Estudo à poupança efetuada em caso de instalação de VEV

Instalação de VEV					
Ventilador	Consumo (kW)	Consumo Diário (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)	Poupança (€)
Sem VEV	0,33	7,92	2.890,80	332,44	282,07
Com VEV	0,05	1,2	438,00	50,37	

O estudo apresentado está apenas dimensionado para a poupança obtida no caso de um só ventilador, sendo que para obter os valores totais da poupança é necessário multiplicar pelos 9 ventiladores instalados na secção de Tratamentos Térmicos. Deste modo, a poupança obtida num ano com a instalação dos variadores eletrónicos de velocidades é de 2.538,65 €.

É importante também conhecer o período de retorno do investimento necessário para instalar VEV's em todos os ventiladores. O preço encontrado para um variador eletrónico de velocidade semelhante ao apresentado na figura 5.16 é de aproximadamente 123 € [27].

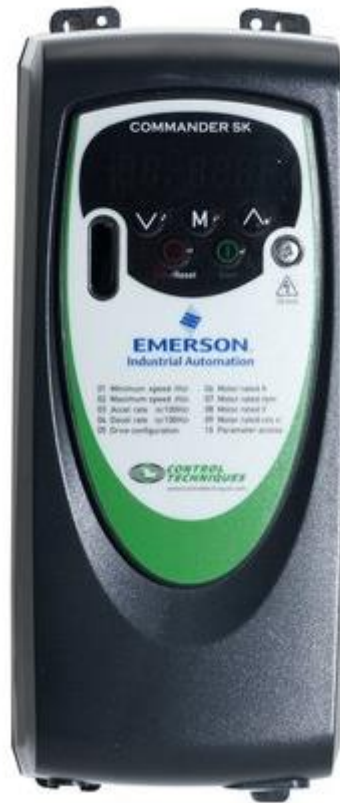


Figura 5.16 - VEV da Emerson Industrial Automation - Control Techniques [28]

O variador eletrónico de velocidade apresentado faz parte dos produtos oferecidos pela *Emerson Industrial Automation - Control Techniques* no que ao controlo de velocidade diz respeito. Da vasta gama de VEV's, o escolhido é o modelo *Commander SK*, pois este é o que melhor se adapta à potência dos ventiladores instalados na secção de Tratamentos Térmicos da empresa.

Finalmente, a poupança efetuada com a instalação dos variadores de velocidade permite pagar o investimento individual num período que ronda os 7 meses. Se o objetivo for pagar o investimento total (ventilador + VEV), o período de retorno do investimento ronda os 2 anos e 7 meses.

Os números anteriormente apresentados permitem concluir que a instalação de variadores eletrónicos de velocidade é uma medida viável e benéfica.

É necessário salientar que a análise acima só tem em conta a parte económica e relacionada com a poupança energética, mas esta medida envolve outra vertente que tem de ser tida em conta.

A redução do número de rotações para metade (500 rotações) implica uma diminuição no volume de ar retirado/renovado pela ventilação. Assim sendo, torna-se necessário efetuar estudos de modo a perceber como é afetada a qualidade do ar, visto que as necessidades de extração variam de nave para nave assim como com as diferentes épocas do ano (no verão é necessária mais ventilação do que no inverno). Caso a qualidade do ar sofra alterações, estudar como minimizar o impacto desta medida maximizando a poupança obtida com a mesma.

### 5.2.6 - Outras Medidas Aplicáveis

A presente subsecção tem como objetivo mostrar medidas de gestão energética que, embora sejam importantes e contribuam para a redução da fatura energética, não o fazem de forma tão ativa como as apresentadas anteriormente. Estima-se que as medidas passivas tenham um impacto que corresponde a cerca de 3 a 5 % no que toca à redução da fatura energética.

Medidas que levem a um melhor conhecimento da distribuição dos consumos da empresa, uma melhor limpeza das instalações, controlo dos consumos efetuados, ações de sensibilização aos operadores entre muitas outras, são importantes para boas práticas de gestão energética.

#### Instalação de Contadores de Energia Parciais

A instalação de contadores de energia parciais vem no seguimento do presente estudo. Como alertado e explicado em capítulos anteriores, a existência de um bom estudo e caracterização fidedigna dos consumos de uma instalação depende muito da qualidade dos dados recolhidos.

A existência de contadores de energia parciais espalhados pelos principais quadros elétricos da instalação, se possível até em cada equipamento (fornos), vão tornar o tratamento de dados muito mais simples, bem como aumentar o volume de informação disponível para trabalhar, e assim, retirar melhores conclusões da evolução e comportamento das instalações.

Os contadores de energia parciais instalados deverão ser do tipo analisador digital trifásico, interligados em rede na dependência de um computador adstrito ao gestor de energia, de modo a efetuar o armazenamento e processamento dos dados recolhidos.

#### Figura do Gestor de Energia

A medida apresentada pode parecer não possuir utilidade e não fazer sentido a criação de um cargo deste género, mas a verdade é que a existência do gestor de energia pode trazer vantagens na poupança de energia o que, indiretamente, leva a poupanças económicas.

O gestor de energia terá de ser alguém qualificado de modo a ter competência para:

- Efetuar o acompanhamento periódico do consumo de energia elétrica, quer globalmente, quer sectorialmente das instalações da empresa;
- Emitir relatórios periódicos sobre a evolução dos consumos de energia elétrica com indicações acerca de incidentes ocorridos;
- Acompanhar as condições de compra de energia, isto é, estar constantemente atento às tarifas existentes bem como negociar com o fornecedor de energia a redução dos preços praticados;
- Apresentar o seu parecer no que à compra de novos equipamentos ou substituição dos mais antigos diz respeito;
- Organizar ações de formação e sensibilização para promoção da gestão energética.

A criação deste cargo faz todo o sentido numa empresa como a F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A. visto que o consumo energético desta, no ano de 2012, foi de aproximadamente 8 GWh. Logo, mesmo que a poupança promovida pelo gestor de energia seja apenas de 1%, esta representa ainda um valor de 80 MWh, que ao preço unitário efetivo de aquisição da unidade de energia para o ano de 2012, representa cerca de 10.000€.

### Formações Internas a Operadores

O desenvolvimento da indústria está bastante ligado ao aumento do consumo de energia elétrica, contudo nem sempre este aumento de consumo é realizado de forma eficiente. De facto, os desperdícios de energia verificados em todo o mundo são imensos, sendo por isso importante aumentar a eficiência energética nas instalações consumidoras de energia elétrica.

O gestor de energia fornecerá as formações (globais ou setoriais) no período de tempo que achar conveniente de acordo com o funcionamento e desempenho energético da empresa, e terá como base casos abstratos, mas também casos práticos de situações que ocorreram no interior das instalações, utilizando dados e apresentando conclusões que resultam da sua análise com base na informação recolhida nos contadores de energia parciais.

As formações internas têm como objetivo a sensibilização para esta situação, bem como dar a conhecer algumas ações, que, a longo prazo têm um impacto significativo. Algumas delas:

- Após utilização de equipamentos eletrónicos, desligar completamente os mesmos ao invés de os deixar em *stand by*;
- Ter o cuidado de desligar as luzes em espaços que não estão a ser alvo de utilização;
- Se existirem aparelhos de climatização, ter o cuidado de não deixar janelas e portas abertas para evitar perdas caloríficas.

No caso particular da secção de Tratamentos Térmicos, para além de formações gerais ligadas aos aspetos ecológicos e sociais do tema, será interessante formar os operadores acerca das implicações energéticas associadas a uma melhor ou pior utilização do forno.

Com efeito, existem algumas situações que contribuem para uma maior ou menor eficiência energética nas instalações:

- Carga média presente no forno tendo em conta a sua capacidade nominal;
- Tempo de abertura da porta do forno nas ações de carga e descarga do material;
- Manutenção do isolamento térmico dos fornos de modo a prevenir fugas de calor;
- Seleção e correto manuseamento das bases onde é colocado o material.

## Controlo de Ponta

O controlo de ponta é uma das principais medidas de poupança energética na indústria. A potência contratada é fortemente influenciada pela potência de ponta que é a máxima potência tomada pela instalação num período de 15 minutos. Caso a potência tomada ultrapasse o valor da potência contratada, esta é imediatamente atualizada por um período de 12 meses com o valor da potência tomada.

A empresa com uma potência contratada de 2046 kW, teve um encargo no ano 2012 de aproximadamente 22.000 u.c., logo, uma redução da potência contratada, tendo em conta um correto controlo da ponta, seria economicamente benéfica.

O controlo de ponta é a ação de interromper por algum tempo a operação de certas cargas elétricas (iluminação, motores, etc.) que, quando ligadas, contribuem para o aumento da potência, incrementando assim o encargo energético para o consumidor

O consumo da hora de ponta pode ser diminuído através de várias ações entre as quais [29]:

1. Distribuição dos consumos ao longo do tempo;
  2. Armazenamento de energia;
  3. Controlo de ponta.
1. A distribuição dos consumos vai permitir a diluição dos consumos pelos períodos temporais de modo a não se registarem excessos de energia consumida num período de 15 minutos. Assim, atinge-se um “consumo médio” estável possibilitando uma maior segurança. A figura 5.17 mostra visualmente o objetivo a atingir.



Figura 5.17 - Objetivo da distribuição dos consumos no control de ponta [30]

2. O armazenamento de energia possibilita uma elevada poupança na energia consumida pois, através do carregamento de baterias em horas de vazio onde a energia é mais barata, serão suportados picos de consumo em horas onde a energia é mais cara. Desta forma evita-se também o aumento da potência tomada.

A adoção desta solução tem de ser estudada pois o investimento inicial é elevado e o período de vida útil das baterias é um pouco limitado (5 a 10 anos). É necessário pesar o investimento realizado com a poupança efetuada no período de vida das baterias.

3. A ponta pode ser controlada através de dois algoritmos:

- O algoritmo corretivo que quando vê que a potência está acima da linha vermelha (figura 5.18), corta carga;
- O algoritmo preditivo que gere a potência de modo a chegar ao fim do intervalo dos 15 minutos abaixo da linha vermelha (figura 5.18), com o corte do mínimo de carga.

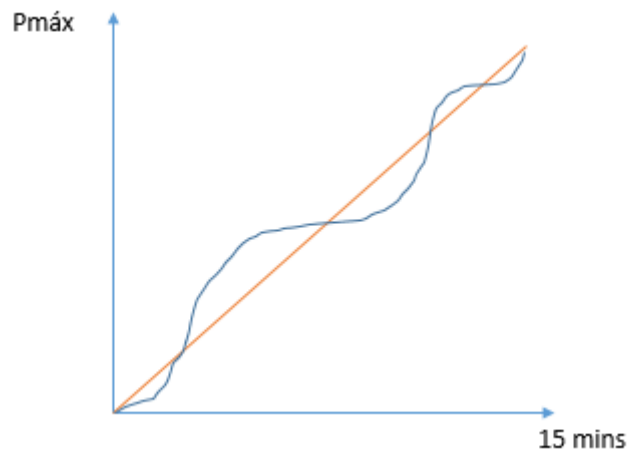


Figura 5.18 - Evolução da potência utilizando um algoritmo preditivo

O algoritmo a apostar é, sem sombra de dúvida, o algoritmo preditivo pois este minimiza a quantidade de carga cortada.

### Ar Comprimido

O ar comprimido é bastante utilizado na indústria funcionando como energia motriz para equipamentos e ferramentas. É necessário perceber se a quantidade de ar comprimido consumida é a necessária pois, a sua produção significa colocar os compressores a consumir energia. O consumo excessivo de ar comprimido pode ter várias origens, entre as quais [31]:

- Compressores a trabalhar quando não são necessários;
- Fugas de ar comprimido no sistema de distribuição;
- Pressão do compressor desajustada;
- Aparelhagem antiquada com baixo rendimento.

De modo a ultrapassar o consumo excessivo de ar comprimido provocado pelos problemas apresentados, existem medidas preventivas que podem ser tomadas:

- Inspeção e limpeza de filtros de entrada de ar de modo a verificar a existência de obstruções;
- Verificar todas as partes mecânicas do compressor de modo a corrigir anomalias e manter todos os componentes lubrificados;
- Procurar que o ar admitido para o interior do compressor seja um ar fresco, a fim de não ocorrer um aquecimento do compressor;

- Verificar as tubagens de distribuição de modo a encontrar eventuais fugas;
- Seccionar as tubagens para facilitar a localização das fugas, além de possibilitar o corte por secções para garantir que nada está a trabalhar sem ser necessário.

### **Sistema de Iluminação**

A primeira medida a tomar no que se refere ao sistema de iluminação de uma instalação é perceber o propósito da mesma, por forma a realizar uma distribuição correta das luminárias no local em função do trabalho que lá será realizado.

A instalação de lâmpadas adequadas ao trabalho a realizar é também importante pois, há trabalhos que necessitam de uma maior eficácia luminosa ou um IRC maior, enquanto outros podem não precisar. A utilização de lâmpadas corretas pode levar a poupanças energéticas muito consideráveis.

Aproveitando a sugestão acima, é imperial que sejam substituídas todas as lâmpadas incandescentes, visto que estas representam um desperdício de energia brutal. De facto, apenas 10% da energia consumida pela mesma apresenta-se como luz visível, enquanto os outros 90% é energia emitida sob forma de calor.

A substituição de lâmpadas por outras de potência inferior é também uma boa medida pois, o excesso de iluminação pode, por vezes, ser prejudicial aos trabalhos e a substituição por lâmpadas de menor potência trazem também poupanças.

A substituição dos balastros magnéticos por balastros eletrónicos é uma boa medida tendo em vista que, entre muitas outras vantagens, há uma melhoria bastante significativa no fator de potência e a poupança energética conseguida com esta substituição ronda os 20% a 30 %.

É necessário ainda lembrar que as lâmpadas de baixo consumo só se apresentam como uma solução eficiente se houver uma boa utilização das mesmas. O facto de as lâmpadas serem eficientes não significa que possam estar sempre ligadas pois, mesmo estas lâmpadas, contribuem para o consumo de energia. Para evitar que as lâmpadas fiquem ligadas quando não há essa necessidade, a opção passa pela instalação de temporizadores ou colocação de controlo com interruptores de presença.

Uma luminária é um objeto onde, embora o local onde esta esteja instalada seja bastante limpo, existe sempre acumulação de pó, gordura e outras sujidades. Esta acumulação leva a uma redução do fluxo luminoso emitido que se estima que seja cerca de 30%. A sua limpeza é então essencial para que não haja redução do fluxo e assim evitar a sensação de falta de iluminação nas instalações.

### **Condições de Limpeza do Local de Trabalho**

A medida sugerida tem influência direta no consumo de energia elétrica tendo um efeito no indivíduo/espço. Esta medida pode ter influência em equipamentos como fornos, armaduras de luminárias, tetos, paredes, bem como influenciar a conduta do operador.

Um operador que trabalhe num ambiente de trabalho limpo tende a manter a limpeza do mesmo enquanto, um operador cujo trabalho se desenrole num ambiente de trabalho sujo terá menores cuidados levando a um descuido na limpeza do mesmo.

Um ambiente de trabalho limpo melhora as condições de funcionamento dos fornos pois, fornos com sujidade acumulada terão piores rendimentos e estarão mais suscetíveis a falhas.



No caso das armaduras das luminárias, a sujidade presente no local de trabalho poderá causar a acumulação de sedimentos levando a uma redução do fluxo luminoso emitido.

A limpeza de paredes tem como objetivo manter as paredes com cores claras pois, o acumular de sujidade nestas faz com que comecem a ficar escuras, levando à falta de iluminação devido à redução da reflexão.

Por outro lado, a limpeza de tetos permite a entrada de uma maior quantidade de luz natural durante um maior período de tempo, evitando assim a utilização do sistema de iluminação quando não é necessário levando à poupança de energia.

### 5.3 - Considerações Finais

Ao longo deste capítulo apresentaram-se propostas no sentido da gestão energética onde a sua aplicação, ou não, é aconselhada tendo por base estudos efetuados e adaptados a cada situação.

Numa empresa com as características da F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A., em especial a sua secção de Tratamentos Térmicos, estas propostas figuram especial interesse pois grande parte dos trabalhos são desenvolvidos tendo como fonte de energia a energia elétrica.

A primeira medida proposta prendeu-se com a substituição das resistências que se encontram no interior dos fornos, as quais são as responsáveis pelo aquecimento dos mesmos. O estudo revelou que a substituição destas não traz vantagens, visto que esta operação conduz a que seja alterada a potência fornecida pelas resistências. Tendo em conta que o processo tem um tempo definido e que não pode ser alterado, esta substituição modifica os valores de energia fornecida sob a forma de calor ao material, que é também um requisito fixo do processo.

Desta feita, poderia ser equacionada a possibilidade do controlo de resistências por escalões, de modo a adaptar a potência fornecida à carga presente no interior do forno. Assim, a substituição destes equipamentos é uma medida que não deve ser considerada. Por outro lado, estudar a possibilidade da sua utilização por escalões é uma medida interessante e requer um estudo cuidado e aprofundado, pois pode levar a poupanças energéticas.

A substituição do isolamento dos fornos foi outras das medidas estudadas, mais precisamente no forno B74T. Esta é uma medida cuja aplicação tem de ser estudada para cada caso particular. As informações obtidas da empresa indicavam que a poupança obtida com a substituição rondava os 33% sobre 50% do consumo do forno durante a sua fase de aquecimento e estágio.

A poupança conseguida depende de vários fatores como a dimensão do forno e número de ciclos realizado pelo mesmo. O primeiro vai ter influência no custo total do isolamento (quanto maior o forno maior será o custo do isolamento), sendo que quanto maior for o número de ciclos, menor será o período de retorno do investimento referente à substituição do isolamento, pois a poupança conseguida é proporcional ao número de ciclos. De acordo com o período de retorno do investimento calculado, juntamente com as vantagens trazidas pela substituição do isolamento, é possível afirmar que esta medida é benéfica para a instalação.

Ainda no interior do forno é possível identificar outra medida: a substituição das bases que acomodam o aço no interior do forno. Esta, embora se apresente com um investimento inicial elevado, traz bastantes poupanças a longo prazo pois, para além de as bases constituídas por carbono terem um tempo de vida superior, consomem uma menor quantidade de energia durante o aquecimento.

Referir que as bases de carbono, quando comparadas com a solução que se encontra atualmente nos fornos, possuem desvantagens sendo estas superadas pelas vantagens que esta substituição traz a longo prazo, sendo assim uma medida que se antevê benéfica para a secção de Tratamentos Térmicos.

Uma parte significativa dos tratamentos térmicos realizados na empresa têm por base a criação de vácuo como a atmosfera presente no interior dos fornos durante o processo. O vácuo é criado com recurso a bombas cujos motores são passíveis de ser substituídos por motores de maior eficiência.

O estudo incidiu sobre a troca de algumas das bombas primárias (bombas responsáveis pela criação de vácuo durante todo o processo), concluindo-se que a troca de bombas conduz a uma poupança anual significativa. Visto que o tempo de vida útil das bombas ronda os vinte anos, e o período de retorno do investimento desta medida é de aproximadamente dezasseis anos, a substituição das bombas de vácuo é uma medida que necessita de ser cuidadosamente estudada.

Com um consumo de 1/8 da potência a 50% da velocidade máxima, os VEV's possibilitam uma poupança anual que permite o retorno do investimento num período de 7 meses. Esse período de tempo é de 2 anos e 7 meses se, para além do VEV, forem também considerados os investimentos do conjunto ventilador + VEV.

O período de retorno do investimento bem como o tempo de vida útil estimado do variador de velocidade fazem com que a aplicação desta medida seja rentável do ponto de vista da poupança energética.

As restantes medidas propostas são medidas fáceis de implementar e seguir, contudo são muitas vezes esquecidas e/ou negligenciadas. É importante então refletir um pouco sob as mesmas e os benefícios que a sua adoção representam para as instalações, respetivos consumos e poupanças efetuadas.

## Capítulo 6

# Conclusões e Perspetiva de Trabalhos Futuros

### 6.1 - Conclusões

A presente dissertação pode ser entendida como um conjunto de três grandes etapas. A primeira corresponde ao estudo dos consumos efetuados. Na segunda realizou-se um estudo da produção da secção de Tratamentos Térmicos, assim como uma determinação dos custos de produção. Por último, analisaram-se medidas de gestão energética e respetiva viabilidade de aplicação.

A dissertação começou com uma apresentação da empresa que submeteu a proposta de dissertação bem como toda a envolvente relacionada com os tratamentos térmicos, que vai desde os diferentes tipos praticados até aos tipos de fornos utilizados nas instalações.

Em seguida realizou-se uma desagregação dos consumos das instalações da secção de Tratamentos Térmicos da empresa. Desta foram retiradas conclusões interessantes, começando pelo impacto desta no consumo total da empresa que representa bastante mais de 60% do total registado.

O estudo dos consumos permitiu concluir que a nave responsável pela maior parte do consumo é a Nave de Vácuo, correspondendo a 73% do total da secção de Tratamentos Térmicos. Desta nave, o sector de têmpera é o que mais influencia os gastos energéticos.

Observou-se ainda que o forno B85T é o que mais energia consome, sendo que os fornos B74T, B84T-1 e B84T-2, devido à sua frequência de utilização, são responsáveis por cerca de metade da energia consumida no sector de têmpera. No sector de revenido, o forno B55RN é aquele que apresenta maior consumo, sendo importante atentar ao facto de que o conjunto de equipamentos constituído pela torre de refrigeração e bombagem representam um consumo equivalente a um forno.

Na Nave de Atmosfera Controlada, o par B64THC e KOS é o responsável pela maioria do consumo, sendo que o forno KOS e a máquina de lavar presente nesta nave possuem um consumo reduzido quando comparados com os primeiros.

Uma das mais importantes conclusões, necessitando, contudo, de um estudo mais aprofundado, está relacionada com a Nave de Contínuo e mais especificamente com o forno Solo. A especificidade do seu funcionamento leva a que este se encontre num estado de *stand by* para assim estar preparado a iniciar os trabalhos quando necessário. O estudo efetuado revelou ainda que o seu consumo em *stand by* ronda os 90% daquele registado em funcionamento. Esta situação merece especial atenção, visto que sendo o consumo de energia semelhante nas duas situações, um aumento da sua eficiência apresenta-se como um cenário bastante provável.

O estudo das produções apresentou-se como o próximo passo lógico, sendo o objetivo deste perceber a sua distribuição pelas naves constituintes da secção de Tratamentos Térmicos. Através do estudo foi possível identificar, que à semelhança do que aconteceu na análise efetuada aos consumos, a Nave de Vácuo se apresentou como a principal responsável pela quantidade de aço tratado, com uma fatia que representa 90% da produção total.

Uma análise mais detalhada desta nave permitiu ainda perceber que, mais uma vez, o forno B85T é o responsável por 1/3 da produção total do sector de têmpera. No sector de revenido o forno B55RN é o que detém a maior parcela na produção, com cerca de 45% do total.

Na Nave de Atmosfera Controlada a produção encontra-se equitativamente distribuída pelos três fornos presentes, sendo que na Nave de Contínuo a produção estimada ronda as 108 u.m. diárias de aço tratado.

Os custos correspondentes aos fornos das diferentes naves foram obtidos através da multiplicação do preço estimado da unidade de energia pelos consumos determinados no capítulo 3, relativo à desagregação de consumos.

Neste sentido, concluiu-se que os fornos B85T e B64THC são os que maiores custos acarretam. Veja-se ainda, que os equipamentos além dos fornos representam na sua totalidade, gastos anuais bastante relevantes, cerca de 50.000 u.c..

A análise conjunta das produções dos diferentes fornos e respetivos consumos permitiu determinar, que os fornos B85T, B84T-1, B84T-2 da Nave de Vácuo e os fornos B64THC e KOS da Nave de Atmosfera Controlada, apresentam-se como os mais dispendiosos, em termos de consumo energético, existentes nas instalações da secção de Tratamentos Térmicos.

O forno B85T é dos mais dispendiosos pois tem um consumo de energia por ciclo de tratamento térmico bastante elevado, cerca de 1.200 u.e.. Por seu lado, os fornos B84T-1 e B84T-2 são os mais dispendiosos, uma vez que o seu nível de produção é baixo quando comparado com o consumo de energia.

Os fornos B64THC e KOS, situados na Nave de Atmosfera Controlada, são bastante semelhantes no que toca ao seu comportamento, quer em termos de consumo de energia por ciclo de tratamento térmico quer na sua produção média diária. Estes são fornos dispendiosos, pois as suas necessidades energéticas no tratamento de aço são bastante elevadas.

Já o forno FCA, devido à natureza dos tratamentos térmicos efetuados, possui um consumo de energia reduzido que juntamente com uma produção média diária que ultrapassa os fornos B64THC e KOS, faz com que possa ser considerado um forno económico.

A última etapa desta dissertação passou pela proposta e estudo de medidas de gestão energética aplicáveis à secção de Tratamentos Térmicos da empresa.

A primeira das medidas propostas prendeu-se com a substituição das resistências de aquecimento. No entanto, esta é de difícil aplicação devido às condicionantes dos processos de tratamento térmico (e portanto não será considerada). Por outro lado, a possibilidade do seu manuseamento por escalões, tendo em conta a carga contida no interior do forno, deveria ser equacionada e estudada, pois dessa forma já seria possível retirar alguma poupança energética.

A substituição do isolamento dos fornos é uma das medidas que se apresentou benéfica na busca da poupança energética, tendo em conta todos os fatores associados (dimensão do forno e número de ciclos realizados). Se a sua aplicação pode ser considerada cara à partida, a verdade é que se o isolamento for constituído por materiais de boa qualidade, o seu tempo de vida será mais longo, promovendo economia de custos energéticos e de manutenção, compensando assim a sua substituição.

Outra medida analisada nesta dissertação diz respeito à substituição imediata das bases. No entanto, esta não é viável pois o tempo de vida útil das bases de carbono é inferior ao período de retorno de investimento da sua substituição. Esta situação não suplanta, porém, as vantagens trazidas pelas bases de carbono, que para além das poupanças energéticas devido ao seu baixo consumo de energia durante o aquecimento, tem também um período de vida superior. Desta forma, a substituição deve ser considerada, não de forma imediata, mas sim quando o tempo de vida útil das bases de aço for ultrapassado e estas se começarem a degradar.

A substituição das bombas de vácuo constitui uma medida que pode trazer poupanças, visto que o seu período de retorno de investimento, aproximadamente 16 anos, é inferior o tempo de vida útil destas, que ronda os 20 a 25 anos. Caso as condições de trabalho sejam ideais, o tempo de vida útil pode aumentar, tornando ainda mais benéfica a sua substituição.

A instalação de variadores de velocidade na ventilação adquirida pela empresa para a secção de Tratamentos Térmicos foi outra das medidas propostas. Esta é de todas as medidas aquela que tem um período de retorno de investimento mais baixo, rondando os 7 meses por variador instalado. Desta forma, a aplicação desta medida deva ser considerada do ponto de vista energético e económico. Todavia, será necessário um estudo relativo à qualidade do ar interior.

As restantes medidas propostas, como por exemplo, instalação de contadores parciais, criação da figura do gestor de energia, formação interna a operadores, que, embora não tão incisivas e diretamente relacionadas com os equipamentos presentes nas instalações da secção de Tratamentos Térmicos, podem levar a poupanças bastantes consideráveis e devem ser colocadas em cima da mesa.

## 6.2 - Perspetiva de Trabalhos Futuros

A presente dissertação abre ainda portas ao estudo de algumas situações que não foram abordadas mas que seria bastante interessante serem objeto de análise.

A Nave de Contínuo possui um dos mais interessantes estudos a fazer. Esse estudo é relativo ao forno Solo que consome bastante energia no seu estado de *stand by* quando comparado com o estado de funcionamento efetivo.

Seria interessante perceber as implicações exatas relacionadas com a ação de desligar o forno por completo e todo o processo associado à sua religação. Será o tempo de resposta longo demais no aquecimento desde os 0°C? O que acontecerá às paredes do forno se este for desligado? Terá alguma influência nas mesmas?

O forno Solo devido à sua constituição, possui bastantes espaços abertos por onde o calor se dissipa levando assim a perdas caloríficas consideráveis. Não será possível eliminar alguns desses espaços abertos?

O planeamento do forno não é passível de ser melhorado de modo a que seja possível, por exemplo, aglomerar as encomendas existentes para maximizar a energia consumida na produção de calor quando este fosse ligado?

A resposta a estas questões ajudaria na compreensão do funcionamento do forno, levando a que fosse possível propor medidas de gestão energética específicas para o mesmo.

As máquinas de lavar presentes na secção de Tratamentos Térmicos são também um caso a estudar pois, foi descoberta uma particularidade no seu funcionamento: segundo informações cedidas pela empresa, a máquina de lavar atmosfera controlada trabalha com maior regularidade quando comparada com a máquina de lavar vácuo, comportando no entanto custos inferiores.

Seria interessante tentar perceber o porquê desta situação e colocar em equação, caso seja necessário, a substituição de uma das máquinas de lavar.

O sistema de refrigeração é outro ponto onde se pode atuar visto que este, devido às suas características de aplicação e funcionamento, necessita de estar a temperaturas bastante baixas por causa dos gases. As baixas temperaturas levam a que os tubos por onde passam os gases se encontrem congelados, havendo a necessidade de aquecimento dos mesmos, bem como o aquecimento dos próprios gases necessários ao processo de tratamento térmico. Seria interessante estudar um modo de aproveitar o calor produzido nos processos de tratamento térmico, de modo a evitar que seja utilizada energia elétrica para efetuar esse aquecimento.

Um dos trabalhos a realizar num futuro próximo seria o estudo da potência tomada nas instalações da empresa. Verifica-se que o seu valor está abaixo da potência contratada logo, seria interessante conseguir um historial mais exato e, com todos os dados, negociar o valor da potência contratada com o fornecedor de energia pois, o montante pago correspondente à potência contratada representa ainda uma quantia avultada.

Verificou-se no capítulo 5 que a instalação de variadores eletrónicos de velocidade na ventilação é uma medida que se apresenta, do ponto de vista energético/económico, como a medida mais benéfica se forem apenas pesados o período de retorno de investimento bem como o investimento inicial necessário. A sua instalação porém, levanta algumas dúvidas que

deverão ser estudadas de modo a verificar se esta medida é de facto benéfica para as instalações e seus ocupantes:

- Serão as rotações suficientes correspondentes a 1/8 da potência para manter a qualidade do ar interior?
- Será necessário manter todas as ventoinhas ligadas ao mesmo tempo ou, por outro lado, chegará apenas ligar algumas delas?
- Será necessário manter a ventilação ligada todo o dia para assegurar os objetivos a que se propõem?
- A introdução de ventoinhas melhorou muito a qualidade do ar interior?

A resposta a estas perguntas será crucial na decisão no momento de optar pela instalação dos variadores eletrónicos de velocidade na ventilação da secção de Tratamentos Térmicos.

A substituição das resistências apresentou-se como uma medida não viável, surgindo a ideia de estudar qual a viabilidade de aplicação do controlo das resistências por escalões. Considera-se interessante estudar esta situação nos fornos presentes na secção de Tratamentos Térmicos da empresa.

Procura de um sistema de gestão de energia adaptado às necessidades da secção de Tratamentos Térmicos da empresa. É importante que este sistema de energia consiga recolher os consumos de energia de cada um dos fornos e que, juntamente com as produções dos mesmos, determine num espaço de tempo definido pelo utilizador, qual a evolução dos consumos específicos. Seria interessante ainda, que o sistema de gestão de energia implementado fosse capaz de prever as pontas de energia dando um alarme e respetivo aviso, possibilitando assim ao operador um melhor planeamento da produção, de modo a nunca ultrapassar um certo valor de ponta para não aumentar os encargos da instalação.

Implementar um sistema que não possibilitasse o arranque do forno sem que a ficha de carga estivesse corretamente preenchida. Assim, para além de levar a um registo de ordens de trabalho mais exato, poderia ser usado para auferir a evolução dos consumos específicos juntamente com a medida referida anteriormente. Caso as ordens de trabalho não sigam uma ordem “correta”, ao realizar o processamento dos dados, o sistema de gestão de energia pode considerar que o forno está em funcionamento, quando na realidade o mesmo se encontra parado, levando ao erro. De modo a evitar esta situação, sugere-se a impossibilidade de inserir uma nova ficha de carga sem a anterior ter terminado o período de tratamento térmico, evitando a sobreposição de ordens de trabalho.





## Referências

- [1] F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.. Quem Somos. Acedido em 21/05/13, em:  
<http://www.ramada.pt/index.php?&cat=7>
- [2] Dados fornecidos pela F. Ramada, Aços e Industrias, S.A.
- [3] Ramada Investimentos. Relatório de Contas 2012. Acedido em 31/05/13, em:  
[http://www.ramadainvestimentos.pt/fotos/editor2/comunicados\\_2013/rirelatorioecontas2012pt.pdf](http://www.ramadainvestimentos.pt/fotos/editor2/comunicados_2013/rirelatorioecontas2012pt.pdf)
- [4] R. Purushothaman. “Evaluation and Improvement of Heat Treat Furnace Model”, WPI, Junho 2008.
- [5] F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.. Tratamentos em Atmosfera Controlada. Acedido em 23/04/13, em:  
<http://www.ramada.pt/index.php?cat=126>
- [6] F. Ramada, Aços e Indústrias, S.A.. Tratamentos em Vácuo. Acedido em 23/04/13, em:  
<http://www.ramada.pt/index.php?cat=127>
- [7] R. Nunes, T. Arai, G. Baker, et all, “ASM Metals Handbook - Volume 4, Heat Treating”, 1991.
- [8] Eficiência Energética na Indústria ADENE. Acedido em 17/03/13, em:  
<http://horacio.no.sapo.pt/Eficiencia%20Energetica%20na%20Industria%20ADENE.pdf>
- [9] Smartwatt. Auditoria Energética. Acedido em 22/04/13, em:  
<http://www.smartwatt.pt/?mode=produto&key=1&prod=106>
- [10] EDP. Composição dos Preços da Eletricidade. Acedido em 30/04/13, em:  
<http://www.edp.pt/pt/empresas/precolivre/Pages/ComposicaodosPrecosdeEletricidade.aspx>
- [11] Ministry of Science and Technology. “Heat Treatment”. Acedido em 30/04/13, em:  
[http://www.most.gov.mm/techuni/media/Met04033\\_52\\_121.pdf](http://www.most.gov.mm/techuni/media/Met04033_52_121.pdf)
- [12] EDP. Tarifas de Média Tensão. Acedido em 13/06/13, em:  
<http://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx>

- [13]B. Zieger. “Increase of the energy efficiency of graphite insulated vacuum furnaces”. Schmetz.
- [14]Fornos BMI. Forno B85T. Acedido em 13/05/13, em:  
[http://www.bmi-fours.com/IMG/jpg/B85T\\_zoom-8.jpg](http://www.bmi-fours.com/IMG/jpg/B85T_zoom-8.jpg)
- [15]Fornos BMI. Ficha Técnica dos Fornos B8\_T. Acedido em 15/05/13, em:  
<http://www.bmi-fours.com/IMG/pdf/BMI-B8-T-leaflet-5.pdf>
- [16]Mersen. “ Características técnicas comparativa entre grafito isostático base con grafito extrudido base ejemplos de calidades 6503 y 1940”, 2013.
- [17]Fornos BMI. Ficha Técnica dos Fornos B5\_R. Acedido em 15/05/13, em:  
<http://www.bmi-fours.com/IMG/pdf/BMI-B5-R-leaflet.pdf>
- [18]Stanford Materials. Isolamento de Molibdénio. Acedido em 15/05/06, em:  
<http://www.stanfordmaterials.com/molybdenum-heat-shields.html>
- [19]Heroman. Isolamento em CFC. Acedido em 15/05/13, em:  
<http://www.heromancc.com/CC-Composite-Heat-Shield-goods-153.html>
- [20]Solar. “Understanding Power Losses in Vacuum Furnaces. Vacuum Furnace Reference Series - Number 5”. Acedido em 03/06/13, em:  
<http://www.solarmfg.com/wp-content/uploads/2011/01/PowerLoss-5.pdf>
- [21]Toyo Tanso.. “C/C Trays for Heat Treatment Application”, 2013.
- [22]Leybold. Ficha Técnica da Bomba de Vácuo Screwline SP250. Acedido em 20/05/13, em:  
[https://leyboldproducts.oerlikon.com/products/produktkatalog\\_04.aspx?cid=1889](https://leyboldproducts.oerlikon.com/products/produktkatalog_04.aspx?cid=1889)
- [23]Edwards. Brochura da Bomba de Vácuo GXS. Acedido em 20/05/13, em:  
<http://www.edwardsvacuum.com/Viewers/Document.ashx?id=1904&lcid=2057>
- [24]E. Rodrigues. Palestra 1 - Harker Solutions S.A., Apontamentos Teóricos de Acionamentos Eletromagnéticos, FEUP, 2012.
- [25]EDP. Variadores Elétricos de Velocidade. Acedido em 11/06/13, em:  
<http://www.edp.pt/pt/empresas/servicosenergia/eficienciaenergetica/Pages/VariadoresElectr%C3%B3nicosdeVelocidade.aspx>
- [26]EFAFLU. Ficha Técnica dos Ventiladores Axiais de Telhado. Acedido em 06/06/13, em:  
<http://www.efafllu.pt/v1/downloads/95.pdf>
- [27]Motion Control Systems. Preço relativo a VEV Commander SK. Acedido em 06/06/13, em:  
<http://www.motioncontrolsystems.co.uk/productdetails/14494/025kw-single-phase-240v-commander-sk.aspx>

- [28] VEV Commander SK da Emerson Industrial Automation - Control Techniques. Acedido em 06/06/13, em:  
[http://www.pneutrolspares.com/media/images/SK\\_Size\\_A.jpg](http://www.pneutrolspares.com/media/images/SK_Size_A.jpg)
- [29] Gestão de Energia Elétrica. Controlo de Ponta. Acedido em 15/06/13, em:  
<http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/aulas%20teoricas/controlopona.PDF>
- [30] “Biscuit Champagne”, Controlo de Pontas, Apontamentos Teóricos de Gestão da Energia, FEUP, 2005
- [31] AlMinho - Associação Empresarial. Manual de Boas Práticas para a Eficiência Energética. Acedido em 15/06/13, em:  
[http://www.aiminho.pt/imgAll/file/Sustentar/manual\\_boas\\_praticas\\_energia\\_sustentar\\_web.pdf](http://www.aiminho.pt/imgAll/file/Sustentar/manual_boas_praticas_energia_sustentar_web.pdf)